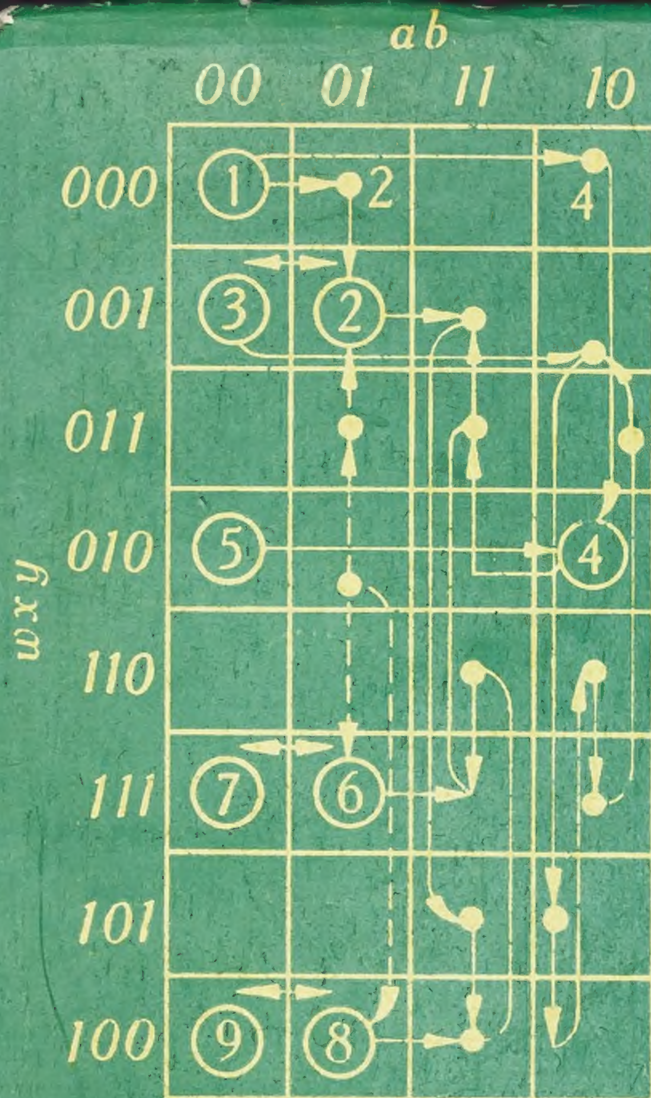


Andrzej Mystkowski

PROJEKTOWANIE UKŁADÓW STEROWANIA PRZEKAŹNIKOWEGO OBRABIAREK

WNT

Celem niniejszej książki jest przekazanie projektantom układów sterowania przekaźnikowego wiadomości o sposobach projektowania opartych o zasady logiki matematycznej.

Metoda posługiwania się tymi wiadomościami jest jednakowa w zastosowaniu do wszystkich układów sterowania dwustanowego, bez względu na technikę ich realizacji. Dlatego przestudiowanie zawartego w książce materiału powinno pozwolić czytelnikowi na wykorzystanie zdobytych wiadomości równie dobrze przy opracowywaniu układów złożonych z przekaźników elektromagnetycznych, jak i elementów logicznych, a nawet układów opartych na nieelektrycznej technice realizacji, jak na przykład sterowania hydraulicznego, czy też pneumatycznego.

Projektowanie
układów
sterowania
przekaźnikowego
obrabiarek

ANDRZEJ MYSTKOWSKI

Projektowanie układów sterowania przekaźnikowego obrabiarek

WNT

WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE
WARSZAWA

Opiniodawca
Doc. dr inż. Henryk Tunia
Redaktor Naukowy
Mgr inż. Danuta Miller
Redaktor techniczny
Anna Napiórkowska
Okładkę projektował
Witold Rębkowski

621.3-50/52

W książce opisano zasady działania i parametry eksploatacyjne łączników stosowanych w układach sterowania przekaźnikowego obrabiarek. Omówiono problemy teoretyczne występujące przy projektowaniu takich układów przedstawiając jednocześnie różne metody projektowania, optymalizacji parametrów technicznych oraz podano liczne przykłady projektowania układów sterowania.
Książka przeznaczona jest zarówno dla inżynierów elektryków jak i dla inżynierów mechaników zajmujących się konstrukcją obrabiarek

WNT, Warszawa 1970 r. Wydanie 1. Nakład 3195 Ark. wydaw. 29,9 Ark. druk. 20,25 (27,93/A) Format B5. Papier ilustracyjny kl. V. 70 g. Oddano do składu 18. 9. 70 r. Podpisano do druku w kwietniu 1971 r. Druk ukończono w kwietniu 1971 r. Symbol 77619/To Cena zł 50.—

Pozn. Zakł. Graf. im. M. Kasprzaka — Zam. 13392/70—Z-1/200

Spis treści

Rozdział piąty

Zarys algebry *Boole'a* w zastosowaniu do układów sterowania przekaźnikowego

Rozdział szósty

Technika minimalizacji wyrażeń strukturalnych

Rozdział siódmy

Synteza obwodów jednotaktowych

Rozdział ósmy

Obwody wielotaktowe. Analiza

Rozdział dziewiąty

Synteza obwodów wielotaktowych

Rozdział dziesiąty

Synteza wielotaktowych układów sterowania o dużej liczbie elementów sterowania

Rozdział jedenasty

Opracowanie pełnego schematu obwodowego układu sterowania obrabiarki

Rozdział dwunasty

Układy sterowania ze statycznymi elementami logicznymi

Żonie Marii
pracę tę poświęcam

Wstęp

Układem sterowania nazywa się ten podzespół maszyny czy urządzenia, który w sposób zgodny z zamierzeniami konstruktora i użytkownika steruje (zmienia) jedną lub więcej wielkości fizycznych, charakterystycznych dla pracy danego urządzenia. Wielkości te, zwane sterowanymi, zmieniają się pod wpływem wysyłanych przez układ sterowania informacji wyjściowych w rodzaju: „ruszaj", „stój", „prędzej", „wolniej", „mniej" itp. Układ sterowania wysyła swe informacje wyjściowe na podstawie dostarczonych mu informacji wejściowych o stanie oraz o zamierzonym i rzeczywistym przebiegu pracy urządzenia. Zadaniem układu sterowania jest zatem przetwarzanie informacji wejściowych na wyjściowe zgodnie z ustalonym programem pracy układu. Układy sterowania można więc zaliczyć do urządzeń przetwarzania informacji.

Informacje wprowadzane do układu i w układzie przetwarzane muszą być reprezentowane przez wielkości fizyczne, będące ich nośnikami. Tak zmaterializowane informacje nazywa się sygnałami, rozróżniając odpowiednio wejściowe i wyjściowe sygnały układu sterowania.

Pomiędzy sygnałami wejściowymi i wyjściowymi zachodzi nie tylko różnica charakteru przekazywanych informacji, lecz zwykle również znaczna różnica poziomu energetycznego, której wartość zależy od tego, co w danym układzie traktuje się jako sygnał wyjściowy. Jeśli zadaniem układu jest uruchamianie i zatrzymywanie wrzeciona frezarki, to jako sygnał wyjściowy można przyjąć napięcie zasilające obwody wzbudzenia styczników załączających silnik napędu wrzeciona. Można również jako sygnał wyjściowy układu sterującego przyjąć otwarcie lub zamknięcie dopływu energii elektrycznej do twornika silnika napędowego. Słuszność tego drugiego podejścia staje się oczywista w takich przypadkach, jak na przykład sterowanie silnika prądu stałego, pracującego w układzie *Leonarda*. Tutaj niewątpliwie sterowanie nie kończy się na doprowadzeniu odpowiedniego wzbudzenia do prądnicy, lecz co najmniej na doprowadzeniu z prądnicy do silnika prądu o żądanym napięciu i natężeniu. Jeśli zaś sterowanie odbywa się w obwodzie zamkniętym, to znaczy ze sprzężeniem zwrotnym (na przykład przez napięcie z prądnicy tachometrycznej napędzanej przez sterowany silnik), wtedy jako sygnał wyjściowy należy przyjąć prędkość obrotową silnika. Rozpatrując z tego punktu widzenia przebieg pracy układu sterowania można go traktować jako układ sterujący strumieniem energii.

Fizyczna natura sygnałów jest różnorodna, musi być jednak w każdym przypadku dostosowana do elementów układu sterującego, a mówiąc ściślej, musi odpowiadać zdolności reagowania elementów układu na sygnały takiej właśnie natury fizycznej. Rozróżnia się sygnały: elektryczne, świetlne, pneumatyczne, hydrauliczne itp.

Informacje wejściowe są przekazywane do układu sterującego przez obsługującego urządzenie (maszynę) oraz przez samo urządzenie. W pierwszym przypadku informacje zostają zamienione na sygnały przez odpowiednie aparaty czy przyrządy, jak na przykład przyciski sterownicze, potencjometry, zawory pneumatyczne lub hydrauliczne itp. Aparaty te przyjęto nazywać organami lub elementami obsługi. Informacje dostarczane przez samo urządzenie zostają zamienione na

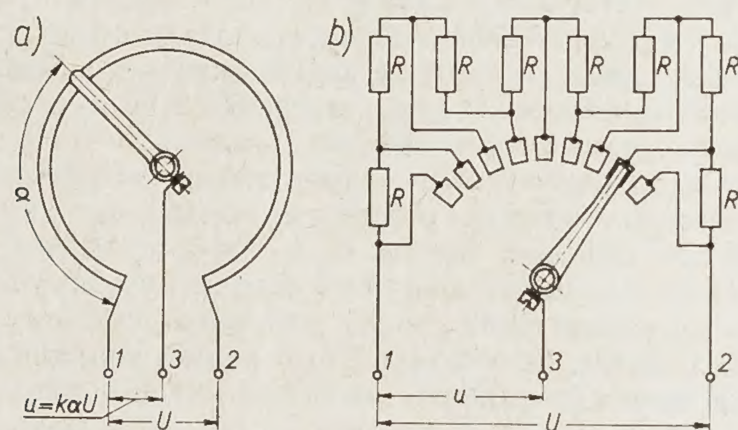
sygnały przez takie aparaty jak łączniki drogowe, czujniki, zawory itp. Aparaty te nazywa się zwykle organami lub elementami sterowania.

Rola organów obsługi i sterowania nie ogranicza się do przekazywania informacji od obsługującego i sterowanej maszyny do układu sterowania, lecz obejmuje również zmianę fizycznej natury nośnika informacji. Tak na przykład łącznik drogowy zamienia sygnał mechaniczny (przestawienie dźwigni pod naciskiem zderzaka, informujące o osiągnięciu przez ten zderzak wyznaczonego położenia) albo na sygnał hydrauliczny (przestawienie tłoczka rozdzielczego powodujące zamknięcie lub otwarcie obwodu hydraulicznego), albo na sygnał elektryczny (zamknięcie lub otwarcie zestyku zamykające lub otwierające obwód elektryczny). Tego rodzaju organy zalicza się do przetworników, czyli konwerterów.

Jeśli jako sygnały wejściowe traktuje się sygnały przetworzone przez konwertery, to konwerterów nie zaliczymy do układu sterującego. Zwykle jednak jako sygnały wejściowe względem układu sterowania przyjmuje się sygnały odbierane (a następnie przetwarzane) przez konwertery. W tym przypadku konwertery będą elementami wejściowymi układu sterowania.

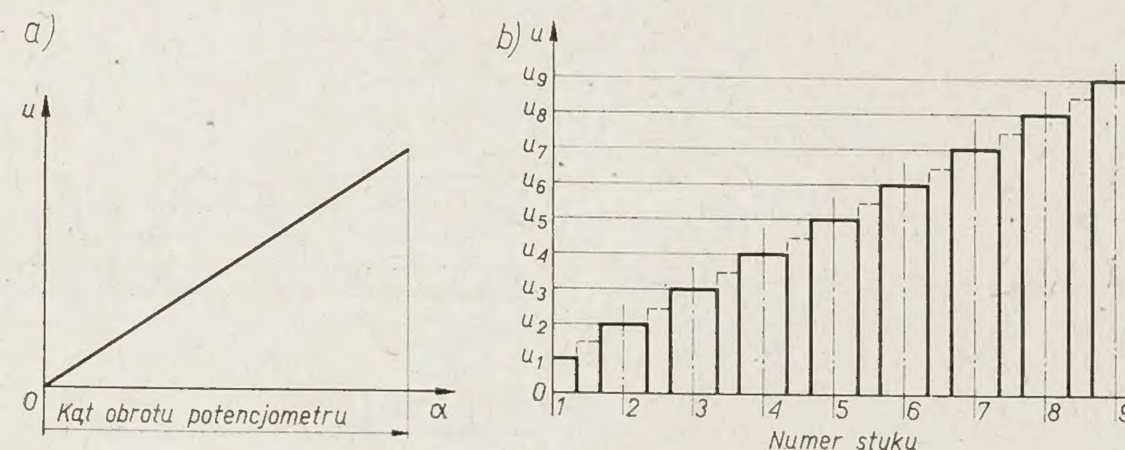
Występowanie sygnałów sterujących wytwarzanych w organach sterowania oznacza, że część informacji o przebiegu pracy danego urządzenia jest dostarczana do układu sterowania nie przez obsługującego, lecz przez samo sterowane urządzenie. Świadczy to tym samym o automatyzacji pracy urządzenia czy procesu technicznego. Im większy jest udział informacji dostarczanych przez organa sterowania w stosunku do informacji przekazywanych przez obsługującego za pośrednictwem organów obsługi, tym większy jest stopień automatyzacji danego urządzenia.

Zarówno sygnały wejściowe, jak i sterowane nimi sygnały wyjściowe, mogą w zależności od przeznaczenia układu sterowania i jego konstrukcji zmieniać swoją wartość w sposób ciągły, albo skokowo. Jako przykład ilustrujący omawiane sygnały można przedstawić sygnał sterujący, otrzymywany z potencjometru (rys. 1a), oraz sygnał otrzymywany z pracującego w podobnym układzie przełącznika wielopołożeniowego (rys. 1b). W pierwszym przypadku nośnikiem informacji przekazywanych przez sygnał jest potencjał u zacisku *3*, zmieniający swoją wartość proporcjonalnie do kąta α obrotu suwaka potencjometru $u = k\alpha U$; w drugim przypadku – potencjał u, zmieniający swoją wartość skokowo przy przestawianiu przełącznika w kolejne położenia. Na rys. 2a pokazano przebieg zmian sygnału, otrzymywanego z potencjometru; na rys. 2b – sygnału z przełącznika przedstawionego na rys. 1b. W zależności od konstrukcji przełącznika potencjał wyjściowy u



Rys. 1. Przykłady konwerterów: położenie kątowe-napięcie: a) potencjometr (wyjściowy sygnał ciągły); b) przełącznik wielopołożeniowy (wyjściowy sygnał nieciągły)

może spadać do zera w momencie przestawiania ruchomego styku przełącznika z jednego położenia roboczego w drugie, albo też przyjmować wartość pośrednią między wartościami potencjałów sąsiednich styków nieruchomych. Na rys. 2b pośrednie wartości potencjału oznaczono liniami przerywanymi. Układ sterowania współpracujący z opisywanym przełącznikiem wielopołożeniowym musi być tak wykonany, aby nie reagował na anormalne wartości sygnałów istniejących przy pośrednich położeniach ruchomego styku przełącznika.



Rys. 2. Przebieg zmian sygnałów napięciowych w czasie: a) ciągłego; b) nieciągłego

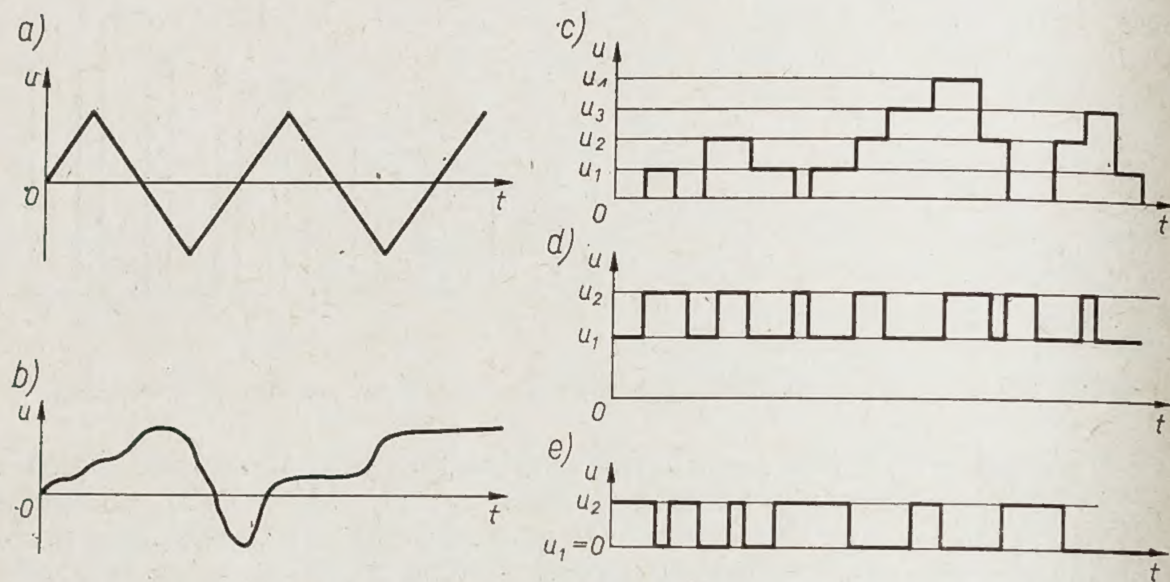
Z podziałem sygnałów, omówionym wyżej na prostych przykładach, wiąże się podział liczbowej metody przekazywania informacji na dwie techniki, analogową i cyfrową (numeryczną). W technice analogowej informacje o wielkościach, przetwarzanych przez układ sterowania, są przekazywane za pomocą sygnałów o wartościach proporcjonalnych do tych wielkości. W technice cyfrowej natomiast wielkości przetwarzane przez układ są reprezentowane przez odpowiednio ustalone kombinacje sygnałów, zmieniających się w sposób nieciągły, a więc skokowo, albo, jak przyjęto mówić w zastosowaniach do techniki cyfrowej – dyskretnie (sygnały dyskretne). W układach obrabiarkowych metoda liczbowa znalazła zastosowanie w postaci analogowego lub cyfrowego sterowania przebiegu obróbki. W tego rodzaju sterowaniu informacje, przetwarzane przez układ, są funkcją przesunięcia narzędzia względem przedmiotu obrabianego oraz wielkości pochodnych (np. prędkości posuwu).

Zmienną wartość sygnału wygodnie jest niejednokrotnie rozpatrywać jako funkcję czasu. Na rys. 3 przedstawiono przebieg w czasie dla różnych rodzajów sygnałów; wykresy 3a i b odnoszą się do sygnałów o ciągłej zmianie wartości, 3c, d i e do sygnałów o skokowej zmianie wartości.

Spośród tych ostatnich na specjalną uwagę zasługują sygnały, które mogą przyjmować jedynie dwie wartości u_1 i u_2 (rys. 3d i e). Sygnały tego rodzaju są między innymi przyjmowane i wysyłane przez łączniki elektryczne. Sygnałami takimi są również: zamknięcie i otwarcie obwodu hydraulicznego, występowanie lub brak ciśnienia w zbiorniku, oświetlenie lub zaciemnienie fotokomórki itp. Treść przekazywanych przez te sygnały informacji nie zależy od ich ilościowej, lecz od jakościowej różnicy. Każdy z poziomów sygnału dwuwartościowego charakteryzuje jeden z dwóch możliwych stanów danego elementu obwodu sterowania (np. zamknięty – otwarty).

W układach sterowania dwustanowego spotyka się najczęściej sygnały o przebiegu, pokazanym na rys. 3e. Na rysunku tym jeden z poziomów sygnału odpowiada

całkowitemu zanikowi wielkości fizycznej, będącej nośnikiem przekazywanej przez sygnał informacji. Z tego powodu spotyka się niejednokrotnie słowne określenie dwóch poziomów sygnału przez „jest – nie ma". Ten sposób określania jest tak bardzo rozpowszechniony, że stosuje się go nawet w tych przypadkach, gdy żaden z poziomów sygnału nie odpowiada zerowej wartości nośnika informacji. Często bowiem stosuje się sygnały dwuwartościowe, dla których wartość nośnika informacji zmienia się skokowo między dwoma granicznymi poziomami (rys. 3d) oboma różnymi od zera. Poziomy te powinny być wyraźnie określone (w granicach ustalonej tolerancji) dla każdego typu sygnałów. Stosując więc określenie „nie ma



Rys. 3. Przykłady różnych zależności między wartością sygnału i czasem

sygnału" należy zawsze pamiętać, że oznacza to przekazanie informacji przez sygnał o ustalonej wartości, choćby wartość ta była różną od zera. Między dwiema informacjami, przekazywanymi przez dwa różne poziomy sygnału dwuwartościowego, a dwiema informacjami, przekazywanymi przez dwa różne sygnały istnieje zasadnicza różnica: Dwa sygnały przekazują dwie całkowicie niezależne informacje, podczas gdy informacje przekazywane przez dwa różne poziomy tego samego sygnału łączy logiczny związek przeciwieństwa (negacji), np.: lampa się świeci – lampa jest zgaszona. Takie dwie informacje nie mogą nigdy być przekazane do układu jednocześnie. Z tego powodu w teorii sterowania dwustanowego jeden poziom sygnału określa się jako negację (albo dopełnienie) drugiego poziomu tegoż sygnału. Jeden poziom oznacza się znakiem O, drugi znakiem 1. Należy zwrócić uwagę, że w tym zastosowaniu O i 1 są symbolami, nie zaś cyframi. Dlatego też można spotkać (np. w literaturze niemieckiej) stosowanie liter O i L.

Układ sterowania, który przyjmuje, przetwarza i wysyła wyłącznie sygnały dwupoziomowe, nazywa się układem sterowania dwustanowego, bądź też przerywanego, często również układem sterowania przekaźnikowego. Ta ostatnia nazwa pochodzi stąd, że w początkowym okresie rozwojowym tego rodzaju układów sterowania ich podstawowym elementem był przekaźnik elektromagnetyczny oraz stycznik przeznaczony do zamykania i otwierania obwodów zasilania silników.

Okresem szczególnie dynamicznego rozwoju układów automatyki przekaźnikowej były lata 1925–1945, kiedy to układy te opanowały wszystkie niemal gałęzie techniki, a zwłaszcza energetykę i telekomunikację (automatyczne centrale telefoniczne). Zastosowanie przez *C.E. Shannona* w r. 1938 algebry logicznej (tak zwanej algebry *Boole'a*) dało początek nowej gałęzi wiedzy – teorii układów przekaźnikowych, a jednocześnie umożliwiło zaprojektowanie i uruchomienie szczytowego osiągnięcia automatyki przekaźnikowej: pierwszej elektromechanicznej maszyny cyfrowej (1944 r.).

Teoria układów przekaźnikowych usunęła największą przeszkodę, stojącą podówczas na drodze rozwoju automatyki przekaźnikowej, a mianowicie trudności związane z intuicyjną metodą projektowania układów, rosnące w miarę rozbudowy i wzrostu stopnia złożoności układów. Wkrótce jednak użytkownicy maszyn matematycznych napotkali nową przeszkodę w postaci zbyt powolnego dla ich potrzeb działania przekaźników elektromagnetycznych. Ta przeszkoda została dość szybko pokonana przez zastosowanie, zamiast przekaźników, bezstykowych układów dwustanowych, w których wykorzystano parametry lamp elektronicznych.

Zastąpienie lamp elektronicznych wynalezionymi w 1948 roku tranzystorami, oraz diodami półprzewodnikowymi, pozwoliło na znaczne zmniejszenie objętości tych układów, nazwanych wkrótce potem elementami logicznymi. Półprzewodnikowe elementy logiczne odznaczają się szeregiem poważnych zalet, jak: duża niezawodność i trwałość, nie spotykana dotychczas szybkość przetwarzania sygnałów, znaczne zmniejszenie, w porównaniu z układami lampowymi, wartości napięcia zasilającego i mocy traconej na ciepło itd.

Oprócz półprzewodnikowych elementów logicznych stosuje się w układach sterowania dwustanowego elementy ferromagnetyczne, wykorzystując ich dwa stany dla dwu różnych polaryzacji rdzenia torroidalnego (pierścieniowego). Elementy ferromagnetyczne, które mogą się odznaczać małymi wymiarami (spotyka się np. elementy, w których uzwojenia sterujące są nawinięte na pierścieniach o zewnętrznej średnicy 2 mm), były pierwotnie wykorzystywane wyłącznie w pamięciowych obwodach układów sterowania, obecnie coraz częściej spotyka się wykorzystywanie tych elementów w technice impulsowej.

Mimo swych niezaprzeczalnych zalet elementy logiczne nie tylko nie wyparły przekaźników elektromagnetycznych z układów sterowania, lecz nawet nie zmniejszyły zapotrzebowania na nie. Zwłaszcza w automatyce maszynowej (a więc w pierwszym rzędzie obrabiarkowej) przeważają w dalszym ciągu układy z przekaźnikami elektromagnetycznymi. Przyczyną tego stanu rzeczy jest w pierwszym rzędzie duży koszt układów z elementami logicznymi, bardzo często przewyższający wyraźnie koszt układów z przekaźnikami elektromagnetycznymi. Nie bez znaczenia są tu również trudności techniczne, występujące przy projektowaniu i wykonywaniu układów sterowania opartych na elementach logicznych. Zwłaszcza projektowanie wymaga od projektanta dobrej znajomości technicznej pełnego asortymentu elementów logicznych danego typu, asortymentu bogatszego na ogół niż to ma miejsce w przypadku przekaźników elektromagnetycznych. W dodatku konieczna tu jest znajomość teorii układów przekaźnikowych, a przede wszystkim – matematycznych metod analizy i syntezy układów sterowania dwustanowego.

Jednakże coraz szersze wprowadzanie automatyzacji do cyklów pracy obrabiarek i innych maszyn produkcyjnych, sterowanych przy wykorzystaniu układów opartych na przekaźnikach elektromagnetycznych, powoduje, że również przy projektowaniu tych układów znajomość wspomnianych metod syntezy i analizy stała się obecnie nie tylko pożądana, lecz wręcz niezbędna.

Celem niniejszej książki jest oddanie do dyspozycji projektantom układów sterowania przekaźnikowego tych narzędzi pracy, które rozwinęły się z zasad i metod logiki matematycznej, zastosowanych do obwodów sterowania.

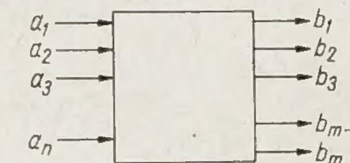
Metoda posługiwania się tymi narzędziami jest jednakowa w zastosowaniu do wszystkich układów sterowania dwustanowego, bez względu na technikę ich realizacji. Dlatego przestudiowanie zawartego w książce materiału powinno pozwolić czytelnikowi na wykorzystanie zdobytych wiadomości równie dobrze przy opracowywaniu układów, złożonych z przekaźników elektromagnetycznych, jak i elementów logicznych, a nawet układów opartych na nieelektrycznej technice realizacji, jak na przykład sterowania hydraulicznego, czy też pneumatycznego.

Rozdział pierwszy

Elementy układów sterowania. Wiadomości podstawowe

1. Struktura układu sterowania

Układ sterowania przekaźnikowego można przedstawić symbolicznie jako prostokąt (rys. 4), a wchodzące i wychodzące sygnały w postaci strzałek. Strzałki skierowane do prostokąta symbolizują sygnały wejściowe, strzałki skierowane od prostokąta sygnały wyjściowe układu. Pierwsze z nich oznaczono na rysunku symbolami a_1, a_2, a_3 ..... a_n, drugie symbolami b_1, b_2, b_3 .... b_n.



Rys. 4. Sygnały wejściowe i wyjściowe układu sterowania przekaźnikowego

Ponieważ w układach sterowania przekaźnikowego wszystkie wejścia i wyjścia są dwustanowe, każda strzałka na rys. 4 przedstawia wprowadzenie do układu, lub wyjście z niego dwóch informacji odpowiadających dwóm stanom danego wejścia, lub wyjścia. W określonej chwili do układu wchodzi tyle sygnałów wejściowych, ile jest wejść i wychodzi tyle sygnałów wyjściowych, ile jest wyjść z układu. Stwierdzenie to wynika z faktu, że w sterowaniu dwustanowym żadne wejście, ani żadne wyjście nie może się znajdować jednocześnie w dwóch stanach i nie może również znajdować się w innym stanie niż w jednym z dwóch, ponieważ trzeciego stanu w ogóle nie ma.

Kombinację wszystkich sygnałów wejściowych do układu w danej chwili nazywa się **stanem wejść tego układu**; kombinację wszystkich sygnałów wyjściowych – **stanem wyjść układu**.

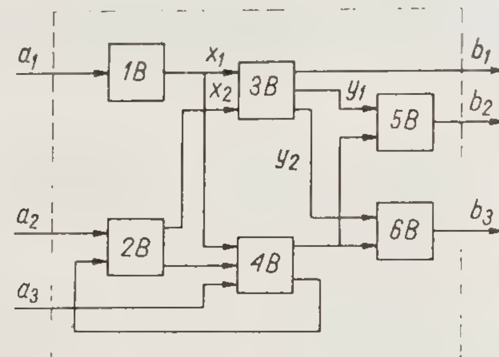
Sygnały wejściowe, przekazują do układu sterowania informacje o decyzjach obsługującego maszynę, albo o przebiegu pracy maszyny. W wyniku wprowadzenia tych sygnałów do układu sterowania jego stan wyjść ulega zmianom, odpowiadającym woli obsługującego, albo założonemu programowi pracy maszyny. Traktując więc sygnały, jako na razie bliżej nie określone wielkości matematyczne, między którymi zależności opisuje się za pomocą funkcji, sygnały wejściowe zalicza się do zmiennych niezależnych.

Sygnały zaś wyjściowe, zmieniające się pod wpływem zmian sygnałów wejściowych, zalicza się do zmiennych zależnych.

Zależność między stanem wyjść układu a jego stanem (lub stanami) wejść wynika ze sposobu, w jaki układ przetwarza sygnały wejściowe na wyjściowe. Ten sposób przetwarzania, stanowiący cechę charakterystyczną każdego układu, nazywa się jego **funkcją przejścia**, albo też **transmitancją**.

Rozpatrując szczegółowiej strukturę układów sterowania można ją rozdzielić na prostsze człony (obwody) tak, jak to pokazano na rys. 5.

Złożony układ sterowania można rozdzielić na prostsze człony (obwody) i przedstawić ich wzajemne związki funkcjonalne, albo strukturalne w postaci schematu blokowego. Przejrzystość schematu blokowego pozwala łatwo prześledzić drogę, sposób, albo charakter przetwarzania sygnałów wejściowych na wyjściowe (rys. 5). W tym celu jednak schemat taki powinien być jeszcze uzupełniony przez podanie w odpowiedniej formie charakteru lub roli jego poszczególnych członów (obwodów) oznaczonych na rysunku *1B*..... *6B*. Tak np. obwód *3B* mógłby przedstawiać element logiczny układu, w którym na wyjściu pojawia się sygnał b_1, gdy na jego wejście zostaną doprowadzone oba sygnały x_1 i x_2; sygnał y_1 pojawia się natomiast, gdy na wejściu jest albo sygnał x_1, albo x_2, albo oba jednocześnie; sygnał y_2 – gdy na wejściu jest sygnał x_1. lecz nie ma sygnału x_2. Te zależności funkcyjne można także zapisywać za pomocą odpowiednich symboli, albo wzorów, co zostanie omówione w dalszych rozdziałach.



Rys. 5. Wewnętrzna struktura przekaźnikowego układu sterowania

Można również w schemacie blokowym wyodrębnić układy stanowiące określoną całość konstrukcyjną (np. przekaźniki, łączniki drogowe itp.). Niejednokrotnie zresztą rozdzielanie układu na bloki funkcyjne prowadzi do rozdzielenia go tym samym na elementy konstrukcyjne, jak to ma miejsce w przypadku stosowania typowych bloków funkcyjnych (na przykład elementów logicznych).

Liczba wyjść z układu sterowania zależy jedynie od spełnianego przez ten układ programu sterowania, a zatem od jego struktury, nie zależy zaś od liczby wejść. Skrajnymi przykładami w tym względzie mogą być:

– elementy logiczne, posiadające z reguły kilka wejść i jedno wyjście, którego stan jest określoną funkcją stanu wejść elementu w danym momencie;

– obwody w układach programowego sterowania sekwencyjnego, w których szereg różnych wyjść może być sterowanych zmianami stanu niewielu, lub nawet jednego wejścia.

Do elementów układów sterowania posiadających jedno wejście i szereg wyjść zalicza się czasem przekaźniki elektromagnetyczne, w których jedno wejście (zasilanie obwodu wzbudzenia) steruje kilkoma wyjściami (zestykami). W tym przypadku wszystkie wyjścia można zaszeregować do jednej z dwóch grup, obejmujących odpowiednio zestyki zwierne i rozwierne tegoż przekaźnika. Przy nie wzbudzonym przekaźniku wszystkie jego zestyki zwierne są w stanie otwartym, rozwierane zaś – zamkniętym i odwrotnie.

1.1. Obwody jednotaktowe

Na ogół każde wyjście obwodu czy układu sterowania jest odmienną funkcją stanu wejść, wynikającą z programu przetwarzania sygnałów przez dany obwód

oraz z jego struktury wewnętrznej, ustalonej w celu zrealizowania tego programu. Wszystkie te różnorodne zależności funkcyjne sygnałów wyjściowych od wejściowych związane z dwiema podstawowymi strukturami układów sterowania można podzielić na dwie zasadnicze grupy: obwody jednotaktowe i obwody wielotaktowe.

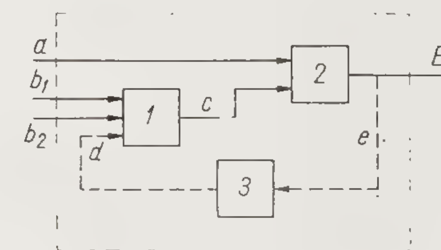
W obwodach jednotaktowych stan wyjść jest funkcją stanu wejść różną dla różnych taktów pracy lecz zawsze ściśle określoną przez strukturę układu. Taktem pracy układu nazywa się okres czasu między dwoma zmianami stanów sygnałów wejściowych, albo wyjściowych. Obwody jednotaktowe noszą również nazwę kombinacyjnych dla podkreślenia zależności stanu wyjść wyłącznie od stanu wejść, a więc od kombinacji poziomów sygnałów wejściowych w danym momencie. Do obwodów jednotaktowych należą elementy logiczne.

Przy rozpatrywaniu układów jednotaktowych nie jest konieczne rozpatrywanie stanów przejściowych, występujących między zmianą stanu wejść, a spowodowaną tym zmianą stanu wyjść. Przyjmuje się, że zmiana stanu wyjść następuje niezwłocznie w wyniku zmiany stanu wejść. Z powyższego wynika, że w układach jednotaktowych takt jest okresem pracy między dwiema kolejnymi zmianami stanu wejść.

1.2. Obwody wielotaktowe

W obwodach wielotaktowych stan wyjść (we wszystkich, albo przynajmniej w niektórych taktach) zależy nie tylko od stanu wejść w danej chwili, lecz również od stanu wejść w poprzednim takcie, a nawet w taktach jeszcze wcześniejszych. Innymi słowy znajomość aktualnego stanu wejść (kombinacji wartości sygnałów wejściowych) obwodu wielotaktowego nie wystarcza aby ustalić, jaki jest w tym takcie pracy stan wyjść układu czy obwodu. Obwody wielotaktowe muszą więc posiadać pamięć rejestrującą poprzednie stany wejść.

Obwody wielotaktowe są zbudowane zasadniczo z takich samych elementów, jak obwody jednotaktowe: z przekaźników elektromagnetycznych, z elementów logicznych itp., również elementy obsługi i sterowania są analogiczne w obu rodzajach obwodów. Podstawową cechą funkcjonalną obwodów wielotaktowych nie występującą w obwodach jednotaktowych jest ich zdolność pamiętania poprzednich stanów wejść. Cecha ta realizowana jest na drodze strukturalnej. Innymi słowy: obwód wielotaktowy otrzymuje się przez odpowiednie połączenie obwodów jednotaktowych.



Rys. 6. Schemat blokowy wielotaktowego układu sterowania

Zasadę działania przekaźnikowych obwodów wielotaktowych ilustruje schemat blokowy obwodu przedstawiony na rys. 6. Przyjmujemy, że transmitancja obwodu *2* jest tego rodzaju, iż sygnał wyjściowy *E* pojawia się jedynie wtedy, gdy na wejście obwodu jest doprowadzony zarówno sygnał *a*, jak i sygnał *c*. Używając wspomnianych we wstępie oznaczeń poziomów sygnałów 0 i 1 można to samo

stwierdzenie wyrazić następująco. Sygnał wyjściowy E przyjmuje wartość 1 jedynie wtedy, gdy na wejściu wartość 1 mają jednocześnie sygnały a i c. Sygnał c z kolei jest sygnałem wyjściowym obwodu jednotaktowego *1* o takiej strukturze, że jego sygnał wyjściowy przyjmuje wartość 1 wtedy, gdy choćby jeden z sygnałów wejściowych b ma wartość 1. Sygnał E ma więc wartość 1 („jest") wtedy, gdy tę samą wartość ma sygnał a oraz jeden lub więcej sygnałów b. Sygnał wyjściowy E ma natomiast wartość 0 („zanika"), gdy albo sygnał a ma wartość 0, albo wszystkie sygnały b, albo zarówno sygnał a, jak i wszystkie sygnały b mają wartość 0. Rozpatrzony obwód, złożony z obwodów elementarnych *1* i *2* jest więc obwodem jednotaktowym.

Omówiona sytuacja ulegnie jednak zmianie, jeżeli sygnał wyjściowy E zostanie skierowany z powrotem na wejście obwodu *1*. Taki sygnał wejściowy obwodu, pochodzący bezpośrednio, albo pośrednio od sygnału wyjściowego tegoż obwodu, będziemy nazywali w e j ś c i o w y m s y g n a ł e m w t ó r n y m. W rozpatrywanym przykładzie pojawienie się sygnału wtórnego d przekształciło obwód jednotaktowy na wielotaktowy. Działanie przykładowego obwodu wielotaktowego jest następujące: w początkowym momencie wszystkie sygnały (wejściowe i wyjściowe) mają wartość 0. Zmiana wartości sygnału wejściowego a oraz przynajmniej jednego z sygnałów b_i z 0 na 1 powoduje jak poprzednio pojawienie się sygnału wyjściowego E, który również jak poprzednio wraca do wartości 0 z chwilą zaniku sygnału a. Jeżeli jednak wartość 1 sygnału a pozostanie stała, natomiast wartość sygału b_i zmieni się z 1 na 0, to sygnał E pozostanie na poziomie 1, ponieważ został on skierowany, jako sygnał wtórny d, na wejście do obwodu *1*. Ponieważ z założenia sygnał wyjściowy c tego obwodu ma wartość 1, gdy choćby jeden z wejściowych sygnałów tego obwodu ma wartość 1, sygnał c pozostanie na poziomie 1. Na wejściu obwodu *2* będą więc w dalszym ciągu dwa sygnały c i a na poziomie 1, sygnał więc E nie zmieni swej wartości na 0. Wobec tego wiedząc, że w danym momencie na wejściu występuje jedynie sygnał a, nie można na tej podstawie stwierdzić, czy sygnał E na wyjściu występuje czy nie występuje. Stan wyjścia zależy bowiem także od tego czy poprzednia zmiana stanu sygnałów dotyczyła sygnałów b, czy też sygnału c oraz czy przed ostatnią zmianą sygnałów wejściowych do obwodu *1* był czy nie był doprowadzony sygnał wyjściowy E. Uzupełnienie zatem struktury układu w sposób, zaznaczony na rys. 6 linią przerywaną, zmieniło charakter układu z jednotaktowego na wielotaktowy.

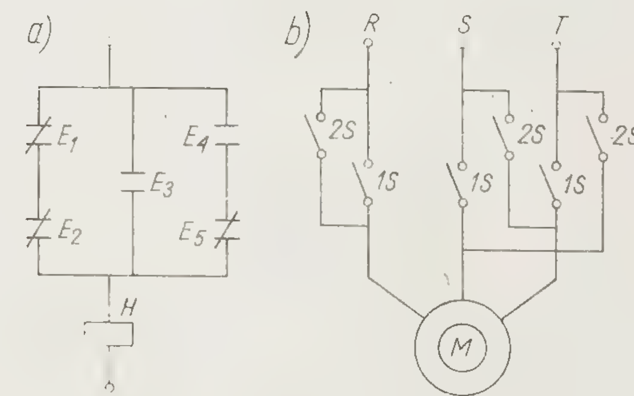
1.3. Obwody wejściowe, pośredniczące i wyjściowe

Obwody układu przedstawione na rys. 6 można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej zalicza się obwody typu przedstawionego symbolicznie prostokątem *1*, do drugiej oznaczone prostokątami *2* i *3*.

Cechą charakterystyczną obwodów pierwszej grupy jest to, że są to obwody jednotaktowe, przyjmujące wejściowe sygnały układu i przekazujące je do obwodów grupy drugiej, a więc ich sygnały wyjściowe są wejściowymi dla innych obwodów tegoż układu (wewnętrznymi sygnałami układu). Obwody takie noszą nazwę o b w o d ó w w e j ś c i o w y c h.

Sygnałami wejściowymi obwodów drugiej grupy są sygnały wyjściowe obwodów grupy pierwszej, czyli obwodów wejściowych. Sygnały wyjściowe obwodów drugiej grupy są kierowane na wyjście układu (sygnały E na rys. 6) oraz na wejścia obwodów wejściowych, albo nawet na wejścia własne. Takie obwody noszą nazwę o b w o d ó w p o ś r e d n i c z ą c y c h.

Sygnały wyjściowe E są kierowane do obwodów, których zamknięcie lub otwarcie powoduje bezpośrednio uruchomienie lub wyłączenie napędu. W złożonych układach sterowania stan zamknięcia lub otwarcia obwodu uruchamiającego napęd jest zwykle funkcją nie jednego, lecz kilku sygnałów wyjściowych układu. Na rys. 7a przedstawiono przykładowo obwód wzbudzenia elektrozaworu H, załączającego np. posuw roboczy. Obwód ten będzie zamknięty, a więc posuw załączony, gdy przynajmniej jedna z trzech jego równoległych gałęzi będzie zamknięta, co jest uzależnione od stanu zestyków E_1 do E_5. Zamknięcie lub otwarcie każdego z tych zestyków jest sygnałem wejściowym rozpatrywanego obwodu. Sygnał wyjściowy obwodu (wzbudzenie elektrozaworu H) steruje jedynie strumieniem energii służącej do napędu maszyny, nie zostaje jednak kierowany z powrotem do układu sterowania. Obwód wzbudzenia elektrozaworu H jest więc obwodem wyjściowym, natomiast przekaźniki, przekazujące sygnały (zamknięcie lub otwarcie zestykówE_i) do obwodu wyjściowego, zaliczymy do elementów obwodów pośredniczących.



Rys. 7. Obwody wyjściowe: a) przekaźnikowy; b) stycznikowy

W przypadku, gdy strumień energii elektrycznej steruje obwodami mocy (rys. 7b) np. przy uruchamianiu i zatrzymywaniu silników elektrycznych, w obwodzie wyjściowym stosuje się z reguły główne zestyki zwierne (1S, 2S) styczników. Porównując obwód wyjściowy małej mocy (rys. 7a) z obwodem mocy (rys. 7b) widać, że o ile w pierwszym przypadku otwarcie obwodu pośredniczącego (wzbudzenia przekaźnika E_i) może spowodować zamknięcie obwodu wyjściowego, to w drugim przypadku w wyniku stosowania wyłącznie zestyków zwiernych przerwanie obwodu wzbudzenia stycznika nie może spowodować załączenia silnika M. To spostrzeżenie skłaniałoby do traktowania obwodów wzbudzenia styczników jako obwodów wyjściowych. Jednakże styczniki wyposażone są również w zestyki pomocnicze, za pomocą których można przekazywać z powrotem do układu sterowania sygnały wtórne, co jest cechą charakterystyczną obwodów pośredniczących.

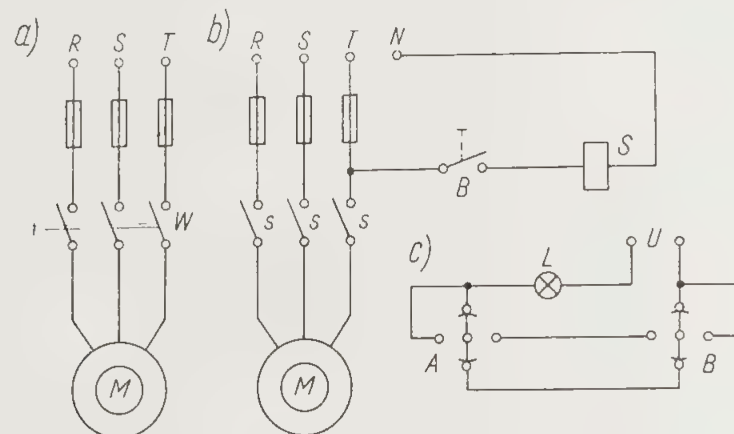
Z uwagi na wspomnianą specyfikę sterowania przy użyciu styczników będziemy rozróżniali układy sterowania z wyjściem przekaźnikowym, (jak na rys. 7a) oraz układy sterowania z wyjściem stycznikowym, (jak na rys. 7b).

Opisane cechy charakterystyczne trzech rodzajów obwodów: wejściowych, pośredniczących i wyjściowych mogą w konkretnych układach ulegać pewnym zmianom, zaciemniającym prosty obraz klasyfikacyjny. Tak np. niektóre sygnały wyjściowe obwodów wejściowych mogą być kierowane bezpośrednio do obwodów wyjściowych, a nawet do tych ostatnich mogą być czasem kierowane bezpośrednio sygnały wejściowe układu. Te drobne odchylenia nie zmieniają jednak zasadniczych cech opisanych trzech grup obwodów układu sterowania przekaźnikowego.

1.4. Proste przykłady obwodów jedno- i wielotaktowych

Różnicę między obwodami jedno- i wielotaktowymi zilustrują jeszcze schematy prostych obwodów.

Najprostszymi obwodami jednotaktowymi są takie, w których załączenie odbiornika (zamknięcie obwodu wyjściowego) odbywa się albo przez ustawienie odpowiedniego przełącznika *W* w położenie „załączone", wyłączenie zaś przez ustawienie tego samego przełącznika w położenie „wyłączone" (rys. 8a), albo też przez naciśnięcie przycisku *B*, załączającego obwód wzbudzenia stycznika *S*, którego zestyki główne *s* załączają silnik napędowy *M* do sieci na pracę dorywczą (rys 8b). W obwodzie takim silnik jest załączony jedynie wtedy, gdy przycisk *B* jest naciśnięty, a z chwilą zwolnienia przycisku *B* silnik zostaje wyłączony.

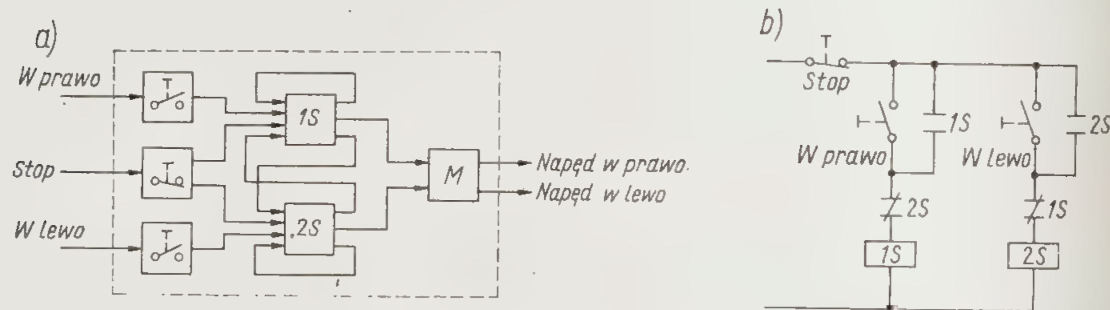


Rys. 8. Przykłady prostych obwodów jednotaktowych

Nieco bardziej skomplikowanym przykładem obwodu jednotaktowego może być obwód, pozwalający na włączanie i wyłączanie lampy *L* dwoma przełącznikami *A* i *B* znajdującymi się w różnych miejscach (rys. 8c).

We wszystkich tych przypadkach stan wyjścia obwodu sterującego (załączenie i odłączenie silnika lub lampy itp.) jest jednoznacznie określony stanem wejścia lub wejść obwodu.

Przykładem elementarnego obwodu wielotaktowego może być przyciskowe sterowanie silnika na pracę ciągłą (schemat blokowy rys. 9a, ideowy rys. 9b). Po załączeniu układu do sieci zasilającej żaden z trzech przycisków nie jest naciśnięty na



Rys. 9. Wielotaktowy układ sterowania: a) schemat blokowy; b) schemat obwodowy

wejściu i na wyjściu nie ma sygnału. Naciśnięcie przycisku „w prawo" przekazuje sygnał do obwodu stycznika *1S*, który przekazuje jeden swój sygnał wyjściowy do silnika *M*, załączając go w zwrocie wirowania w prawo, drugi sygnał wyjściowy

tegoż stycznika do obwodu stycznika *2S*, zabezpieczając ten obwód przed przyjęciem sygnału „w lewo" dopóki na wyjściu z układu jest sygnał „napęd w prawo". Trzeci wreszcie sygnał wyjściowy obwodu *1S* zostaje skierowany na jego własne wejście jako sygnał wtórny, dzięki czemu zanik sygnału wejściowego „w prawo" nie powoduje zaniku sygnału wyjściowego obwodu *1S*, a tym samym i obwodu *M*, co właśnie decyduje o tym, że obwód *1S* jest obwodem wielotaktowym.

Podczas pracy napędu w prawo sygnał wejściowy „w lewo" nie jest przyjmowany, natomiast wprowadzenie sygnału „stop", omijającego elementy wejściowe „w prawo" i „w lewo", powoduje skasowanie sygnałów wejściowych obwodu *1S*, a więc i całego układu, co z kolei powoduje odłączenie zasilania silnika, skasowanie sygnału wyjściowego „napęd w prawo", odblokowanie drogi dla sygnału wejściowego „w lewo", otwarcie zestyku *1S*, podtrzymującego zasilanie stycznika *1S*, na skutek czego zwolnienie przycisku „stop" nie spowoduje uruchomienia napędu. Sygnał wejściowy „stop" kasuje nie tylko sygnały wyjściowe, lecz również sygnały wejściowe „w prawo" i „w lewo", dopóki więc przycisk „stop" jest naciśnięty, pozostałe sygnały wejściowe nie są odbierane przez układ.

W sposób analogiczny do opisanego przebiega sterowanie napędu w lewo.

1.5. Ilość przekazywanych sygnałów. Kod sygnałów

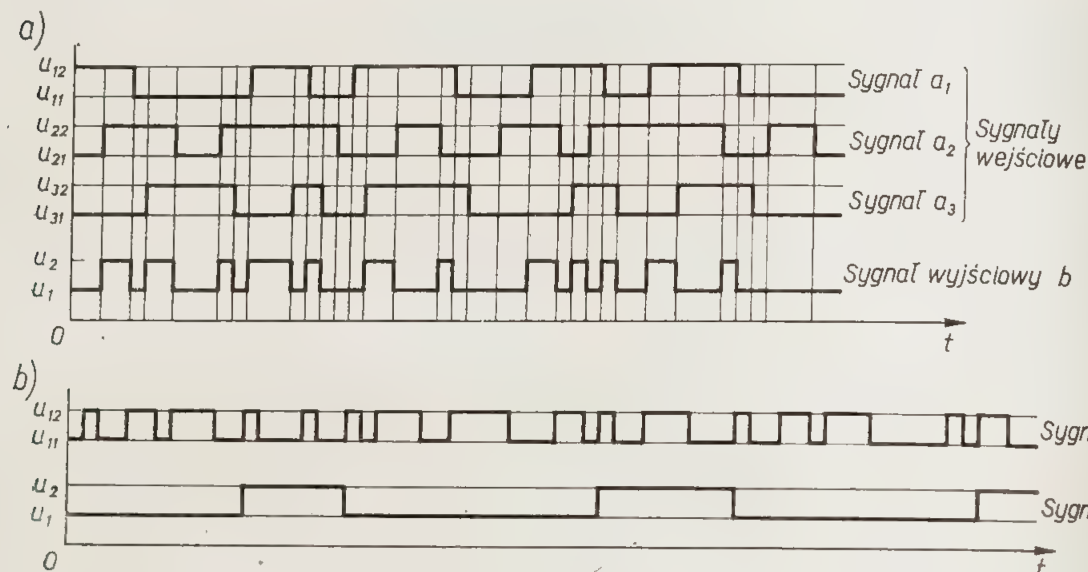
Za pomocą jednego sygnału dwuwartościowego można przekazać do układu dwie informacje, odpowiadające dwóm poziomom sygnału. Mając jednak do dyspozycji *n* sygnałów wejściowych a_1, a_2, a_3,...a_n, można przekazać nie 2^n informacji, lecz znacznie więcej. Do tego celu wykorzystać trzeba kombinacje poziomów sygnałów, a więc różne kombinacje stanów wejść, czy wyjść.

W układach jednotaktowych z *n* sygnałami dwuwartościowymi można otrzymać 2^n różnych kombinacji ich poziomów, a tym samym przekazać za ich pośrednictwem 2^n różnych informacji. Na treść każdej informacji w danym momencie składają się więc odpowiednie poziomy wszystkich sygnałów wejściowych (albo wyjściowych). W przypadku gdy $n = 2$ (sygnały a_1 i a_2) można za pośrednictwem sygnałów przekazać do układu $2^2 = 4$ informacje, odpowiadające następującym stanom wejść: 1) nie ma sygnału a_1, ani a_2; 2) jest sygnał a_1, nie ma sygnału a_2; 3) jest sygnał a_2 nie ma sygnału a_1; 4) są oba sygnały a_1 i a_2. Tego rodzaju odczytywanie informacji, w pewnym momencie z aktualnej kombinacji stanów wszystkich sygnałów nazywamy równoległym odczytywaniem albo równoległym przekazywaniem sygnałów.

Na rysunku 10a przedstawiono diagram trzech sygnałów wejściowych a_1,a_2 i a_3 przekazywanych równolegle do układu jednotaktowego. Przy zastosowaniu trzech sygnałów można otrzymać $2^3 = 8$ różnych stanów wejść, można by więc za ich pośrednictwem uzyskać osiem informacji. Jednakże, jak wynika z diagramu, w rozpatrywanym przypadku za pośrednictwem sygnału *b* na wyjście zostają przekazane tylko dwie informacje odpowiadające dwóm stanom sygnału *b*. Analizując diagram można dojść do wniosku, że sygnał *b* pojawia się wtedy, gdy na wejściu występują jednocześnie dwa dowolne sygnały z trzech.

W podanym przykładzie osiem stanów wejść zostało więc podzielonych na dwie zaledwie grupy, z których każda służyła do przekazania jednej z dwóch informacji. Jeśli jednak za pośrednictwem *n* sygnałów zamierza się przekazywać 2^n albo niewiele mniej informacji to każdemu stanowi wejść należy podporządkować określoną informację. Tę czynność podporządkowywania nazywa się zakodowaniem informacji, a zestawienie stanów wejść i odpowiadających im informacji kodem sygnałów.

W układach wielotaktowych, w których wartości sygnałów wyjściowych zależą nie tylko od aktualnego stanu wejść, lecz również od kolejności (sekwencji), w jakiej sygnały przekazywane były na wejście układu, ta sama liczba sygnałów wejściowych może być wykorzystana do przekazania znacznie większej liczby informacji. W takim przypadku do zakodowania informacji można wykorzystać również sekwencję, przedstawiając parametry zapisu i odczytu informacji w funkcji czasu. Tego rodzaju odczytywanie informacji z uwzględnieniem kolejności pojawiania się i zaniku sygnałów wejściowych nazywa się odczytem szeregowym, a odpowiedni kod — kodem szeregowym.



Rys. 10. Przykłady zależności sygnału wyjściowego od wejściowych: a) przy równoległym; b) przy szeregowym wprowadzaniu sygnałów wejściowych

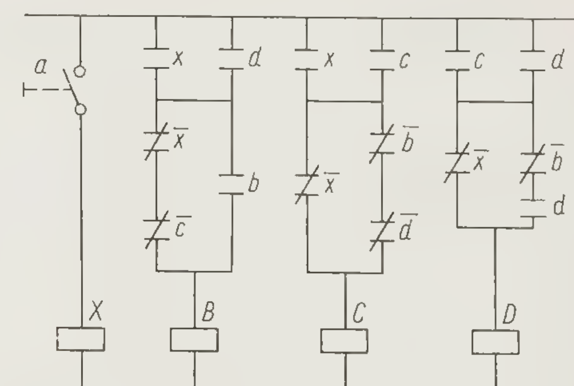
Na rysunku 10b podano przykład diagramu przetwarzania sygnałów wejściowych w wyjściowe w układzie wielotaktowym o jednym wejściu i jednym wyjściu. Sygnał wyjściowy *b* pojawia się w momencie, gdy sygnał wejściowy *a* osiągnie wartość u_{12} po raz piąty (licząc od ostatniego skasowania sygnału *b*), zanika zaś, gdy sygnał *a* osiągnie wartość u_{12} po raz trzeci od chwili pojawienia się sygnału *b*.

Na diagramach rys. 10a i 10b narysowano oba stany każdego sygnału, jednakże — dla większej przejrzystości wykresu — skala wartości każdego sygnału została przesunięta pionowo względem skal wartości pozostałych sygnałów. Ponieważ mamy do czynienia z sygnałami dwustanowymi, diagram będzie całkowicie zrozumiały i jednoznaczny również wtedy, gdy zaznaczymy na nim tylko jeden stan każdego sygnału (stan „jest sygnał"). Przykładem takiego uproszczonego diagramu jest rysunek 12b.

Dla zorientowania czytelnika w możliwościach przekazywania informacji przy szeregowym odczytywaniu sygnałów wejściowych podano schematy dwóch prostych układów. W układzie przedstawionym na rys. 11 jest tylko jeden sygnał wejściowy *a*, powielony przez przekaźnik *X*, oraz trzy sygnały wyjściowe, odpowiadające stanom trzech przekaźników wyjściowych *B*, *C* i *D*. Pierwsze wprowadzenie sygnału *a* (naciśnięcie przycisku *A*)[1]) powoduje załączenie przekaźnika *C*;

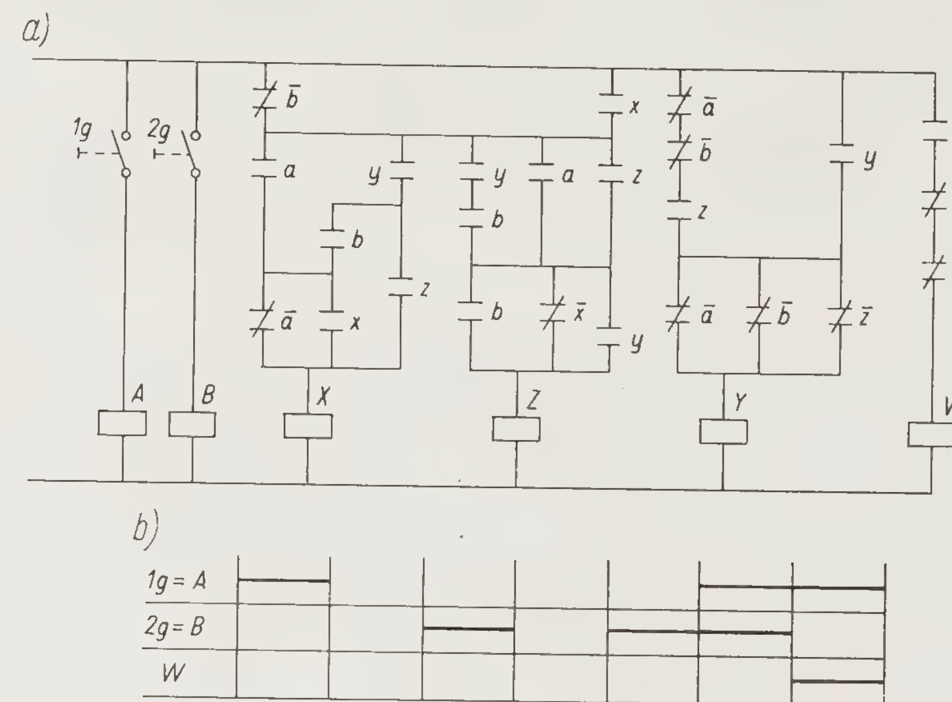
[1]) W tej książce przyjęto oznaczenie dużymi literami całych łączników (w przypadku łączników o napędzie elektromagnesowym również ich cewek i obwodów wzbudzenia), takimi samymi małymi literami ich zestyków zwiernych (np. *a* oznacza zestyk zwierny łącznika *A*; *b* łącznika *B*) wreszcie małymi literami z kreską u góry — zestyków rozwiernych ($\bar{a}$ oznacza zestyk rozwierny łącznika *A*).

pierwsze skasowanie sygnału *a* (zwolnienie przycisku *A*) — załączenie przekaźnika *D*; drugie naciśnięcie przycisku *A* wyłącza przekaźnik *C*, drugie zwolnienie przycisku *A* załącza przekaźnik *B*; trzecie naciśnięcie *A* wyłącza przekaźnik *D*, wreszcie trzecie zwolnienie *A* wyłącza przekaźnik *B* i układ wraca do stanu początkowego (wszystkie przekaźniki wyłączone).



Rys. 11. Schemat układu wielotaktowego z jednym wejściem i kilkoma wyjściami

Układ pokazany na rys. 12a jest przykładem tak zwanego zamka elektrycznego, to znaczy układu sterowania, przekazującego na wyjście tylko jedną z praktycznie nieograniczonej liczby różnych sekwencji kilku sygnałów wejściowych. W omawianym schemacie zastosowano dla prostoty jedynie dwa sygnały wejściowe *a* i *b*. Sygnałem wyjściowym jest załączenie przekaźnika *X* przy wyłączonych pozostałych dwóch przekaźnikach *Y* i *Z*. Przy takiej kombinacji sygnałów *x*, *y* i *z* zostaje załączony element wyjściowy *W* (np. stycznik). Aby jednak uzyskać wymaganą kombinację sygnałów *x*, *y* i *z*, trzeba sygnały *a* i *b* wprowadzać do układu w określonej kolejności, pokazanej na diagramie rys. 12b: po jednorazowym załączeniu i wyłączeniu przekaźnika *A* należy dwukrotnie załączyć przekaźnik *B*,



Rys. 12. Schemat układu wielotaktowego z dwoma wejściami i jednym wyjściem

a następnie — przed powtórnym wyłączeniem przekaźnika *B* — znowu załączyć przekaźnik *A*. Po powtórnym wyłączeniu przekaźnika *B* pojawia się sygnał wyjściowy, trwający dopóty, dopóki przekaźnik *A* pozostaje wzbudzony.

2. Łączniki. Wiadomości ogólne

Łącznikiem elektrycznym przyjęto nazywać każdy aparat, lub urządzenie, służące do zamykania i otwierania obwodów prądu elektrycznego. Określenie to obejmuje szeroki asortyment urządzeń, jak: łączniki zestykowe mechanizmowe, sprzęgniki (wtyczki i gniazdka), bezpieczniki, a nawet tranzystory i lampy elektronowe.

Tak obszerna grupa aparatów elektrycznych wymaga klasyfikacji i ustalenia podstawowej terminologii. Prace w kierunku ustalenia systematyzacji i terminologii były i są prowadzone w wielu krajach.

W Polsce klasyfikację łączników oraz terminologię, obejmującą rzeczowniki oraz czasowniki i przymiotniki związane z pracą i eksploatacją łączników elektroenergetycznych, określa norma państwowa PN-68/E-01000.

W oparciu o normę podano poniżej określenia niektórych pojęć z zakresu łączników energoelektrycznych i ich eksploatacji szczególnie przydatne w dalszych rozdziałach książki.

Przeznaczeniem łącznika jest wykonywanie czynności łączeniowych czyli załączenie i wyłączenie prądu w obwodzie elektrycznym.

Do grupy łączników zestykowych należą przekaźniki i styczniki, w których czynności łączeniowe wykonywane są przez zestyki.

Zestykiem nazywa się zespół dwóch styków współpracujących ze sobą (styku ruchomego i nieruchomego) i umożliwiających przepływ prądu w torze prądowym (zestyk zamknięty), albo przerywających przepływ (zestyk otwarty).

W łącznikach zestykowych czynność zamykania i otwierania zestyków sprowadza się do przestawiania styków ruchomych z jednego położenia w drugie. Ponieważ w tym celu należy uruchomić napęd łącznika, mówi się o przestawianiu łącznika.

Przez analogię do łączników zestykowych używa się tego samego określenia również i do łączników bezstykowych. Zamiast więc mówić np. o zablokowaniu i odblokowaniu toru prądowego tyrystora można mówić również o jego przestawieniu ze stanu przewodzenia do stanu nie przewodzenia i odwrotnie. Przestawienie łącznika jest równoznaczne z zamknięciem lub otwarciem jego toru prądowego, nie oznacza jednak załączenia lub wyłączenia prądu elektrycznego w tym torze. Jeśli przestawieniu łącznika towarzyszy załączenie lub wyłączenie prądu w obwodzie, to w takim przypadku mówi się o manewrach łącznika.

Napędem łącznika mechanizmowego nazywa się część jego mechanizmu, przystosowaną do przetwarzania zewnętrznej energii napędowej w energię mechaniczną służącą bezpośrednio do przestawiania styków ruchomych.

Jeżeli w jednym położeniu łącznika wszystkie jego zestyki są zamknięte, w drugim zaś otwarte, to stany te odnosi się również do stanu całego łącznika, mówiąc o zamknięciu lub otwarciu łącznika.

Analogicznie określa się dwa położenia łącznika wyposażonego w zestyki, z których część jest w jednym położeniu łącznika zamknięta, część zaś otwarta, lecz ta różnorodność stanów zestyków dotyczy jedynie zestyków pomocniczych, nie dotyczy zaś zestyków głównych. W takich przypadkach określenie położenia łącznika odpowiada położeniu jego zestyków głównych.

Stosowanie tak ustalonych określeń do łączników o napędzie elektromagnetycznym przy omawianiu układów sterowania może prowadzić do nieporozumień. Tak np. przekaźnik elektromagnetyczny w stanie nie wzbudzonym trzeba by nazwać zamkniętym, jeżeli jest on wyposażony wyłącznie w zestyki rozwierne. Ponieważ przy projektowaniu układów sterowania rozpatruje się zazwyczaj stany wzbudzenia łączników elektromagnetycznych, wygodnie jest zamiast proponowanych przez normę określeń: zamknięcie i otwarcie łącznika używać określeń: załączenie i wyłączenie, rozumiejąc pod tym odpowiednio zamknięcie i otwarcie obwodu jego wzbudzenia. W przypadku łączników wielopołożeniowych kolejne ich położenia wyróżnia się numerami.

Łączniki, w których wszystkie zestyki zajmują zawsze to samo położenie pod działaniem sił wewnętrznych łącznika, albo siły ciężkości, noszą nazwę łączników o sile zwrotnej lub łączników zwrotnych. Przykładem łącznika zwrotnego może być przycisk sterowniczy, stycznik itp.

Położenie zestyków łącznika o napędzie zwrotnym, gdy nie działają na niego zewnętrzne siły napędowe, nazywamy położeniem spoczynkowym. Położenie zestyków i łącznika pod działaniem zewnętrznych sił napędowych nazywamy położeniem wymuszonym.

Zestyki otwarte w położeniu spoczynkowym noszą nazwę zwiernych, zwierających, czynnych, albo normalnie otwartych; zestyki zaś zamknięte w położeniu spoczynkowym nazywa się rozwiernymi, rozwierającymi, biernymi, albo normalnie zamkniętymi.

W łącznikach bez siły zwrotnej każde przestawienie styków wymaga przyłożenia do napędu łącznika odpowiedniej siły zewnętrznej. Aby przestawienie styków ruchomych nie mogło nastąpić przypadkowo (np. na skutek wstrząsu), łącznik bez siły zwrotnej jest tak skonstruowany, że w każdym położeniu utrzymuje go siła wewnętrzna bierna. Norma nie przewiduje specjalnej nazwy dla tej grupy łączników, nazywa się je zwykle łącznikami stabilizowanymi. W łącznikach stabilizowanych nie można rozróżniać spoczynkowego i wymuszonego stanu zestyków, można jedynie podawać opisowo, które zestyki w jakim położeniu są otwarte, a które zamknięte.

2.1. Styczniki. Przekaźniki. Czujniki. Konwertery

Cytowana norma PN-68/E-01000 mianem styczników określa obszerną grupę łączników o napędzie zwrotnym, obejmującą także przyciski sterownicze. W niniejszej pracy nazwa stycznik będzie jednak stosowana wyłącznie w odniesieniu do styczników elektromagnetycznych, a więc łączników, które w wyniku doprowadzenia odpowiedniego napięcia (lub natężenia) prądu do obwodu wzbudzenia zamykają zestyki główne, przystosowane do załączania i wyłączania prądu w obwodach zasilania silników elektrycznych.

Oprócz zestyków głównych zamkniętych w stanie wymuszonym styczniki posiadają z reguły zestyki pomocnicze zwierne i rozwierne, przystosowane do obciążania małą mocą.

Łączniki o napędzie elektromagnetycznym, wyposażone wyłącznie w zestyki o małej obciążalności i przeznaczone do wykonywania czynności łączeniowych w obwodach sterowania noszą nazwę przekaźników elektromagnetycznych.

Ogólnie mianem przekaźnik przyjęto oznaczać każdy łącznik wyposażony w zestyki o małej obciążalności, którego sygnały wejściowe są wielkościami elektrycznymi. W niniejszej pracy zamiast określenia przekaźnik elektromagnetyczny będzie często stosowane określenie przekaźnik. Aby uniknąć niepo-

rozumień, w przypadku innych rodzajów przekaźników będzie zawsze stosowana pełna nazwa. (np. przekaźnik termiczny).

Od przekaźników należy odróżniać czujniki. W tej książce „czujnikami" będą nazywane aparaty przyjmujące wejściowe sygnały nieelektryczne i przetwarzające je na wyjściowe sygnały elektryczne. W układach sterowania dwustanowego szerokie zastosowanie znajdują łączniki, przekazujące do układu sterowania sygnały w momencie przekroczenia przez nieelektryczną wielkość wejściową (przesunięcie, ciśnienie, temperaturę itp.) ustalonej wartości granicznej.

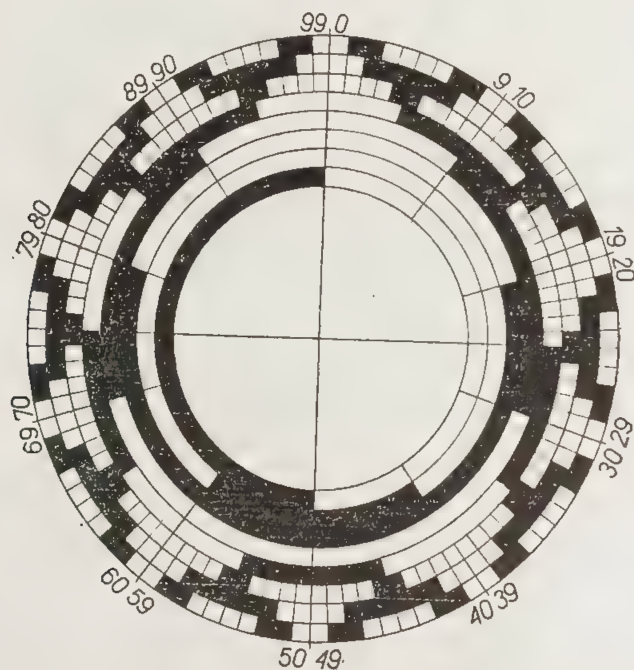
Wg normy PN-68/E-01000 ten rodzaj łączników nazywa się krańcowymi. Ze względu na specyfikę tematu niniejszej pracy wprowadzono do tego terminu ograniczenie jego zakresu pojęciowego, nazywając łącznikami krańcowymi jedynie łączniki drogowe, powodujące zmianę zwrotu, albo przynajmniej wyłączenie napędu, przesuwającego zderzak względem łącznika krańcowego.

Natomiast łączniki, odpowiadające według normy określeniu łączników krańcowych, będą nazywane czujnikami. W ten sposób wprowadza się pewne ograniczenie do podanej wyżej definicji czujnika.

Tak na przykład urządzenie, zabezpieczające silnik elektryczny przed skutkami przeciążenia, nazywa się przekaźnikiem termicznym (cieplnym), ponieważ sygnałem wejściowym jest prąd elektryczny, przepływający przez drut oporowy grzejników przekaźnika. Oprócz przekaźników termicznych stosuje się do tego samego celu inne urządzenia, bezpośrednio reagujące na ciepło, wytwarzane w uzwojeniach silnika. Tego rodzaju urządzenia nie nazywa się przekaźnikami, lecz czujnikami termicznymi.

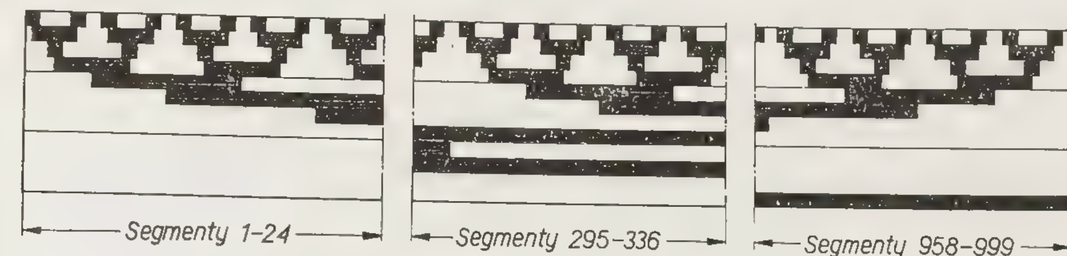
Konwerter jest to urządzenie zmieniające parametry sygnału, a więc albo jego fizyczną naturę (np. przesunięcie na proporcjonalne do niego napięcie elektryczne), albo charakter: z analogowego na cyfrowy, lub z cyfrowego na analogowy.

Przymiotników: analogowy i cyfrowy używa się również w odniesieniu do konwerterów fizycznej natury sygnału dla zaznaczenia, czy sygnał wyjściowy konwertera ma charakter analogowy, czy też cyfrowy. Np. potencjometr o liniowej charakterystyce napięcia w funkcji kąta obrotu suwaka można nazwać kon-



Rys. 13. Tarcza kodowa jako przykład konwertera kątowo-cyfrowego

werterem kątowo-analogowym. Natomiast konwerterem kątowo-cyfrowym nazwać można tarczę kodową (rys. 13), w której numer wycinka jest oznaczony w odpowiednim kodzie przez kombinację sygnałów w poszczególnych polach tego wycinka. Na rys. 14 przedstawiono konwerter liniowo-cyfrowy z identycznym kodem, jak w konwerterze kątowo-cyfrowym. Należy zwrócić uwagę na charakterystyczną cechę zastosowanego w tych konwerterach kodu: przy przechodzeniu z któregokolwiek wycinka do wycinka sąsiedniego zmienia się stan zapisu zawsze



Rys. 14. Pomiarowy liniał kodowy jako przykład konwertera liniowo-cyfrowego

tylko na jednej ścieżce. Zabezpiecza to przed fałszywymi sygnałami, jakie w momencie przechodzenia z jednego wycinka na drugi mógłby wysyłać konwerter wykonany w kodzie, w którym sąsiednie wycinki różnią się stanem zapisu na dwóch i więcej ścieżkach. Jest to poza tym kod binarno-dziesiętny: każda cyfra liczby dziesiętnej jest tu zanotowana w kodzie binarnym, obejmującym cztery ścieżki.

2.2. Klasyfikacja zdolnościowa łączników

Spośród kilku rodzajów klasyfikacji ustalonych w normie PN-68/E-01000, na specjalną uwagę zasługuje podział łączników według ich zdolności do wykonywania określonych funkcji.

Na rysunku 15 przedstawiono wprowadzony przez normę schemat podziału łączników według ich zdolności do wykonywania określonej funkcji.

Główna linia podziału oddziela łączniki prądu stałego od łączników prądu zmiennego. O przynależności do jednej z grup decyduje wyłącznie rodzaj prądu w torze głównym łącznika, a nie rodzaj prądu sterującego (załączającego napęd łącznika). Podział taki został podyktowany odmiennym rodzajem warunków pracy łącznika, a właściwie jego toru prądowego, zwłaszcza przy otwieraniu obwodu prądu stałego i zmiennego.

Duże znaczenie praktyczne ma podział łączników na trzy grupy w zależności od wartości prądu wyłączalnego w stosunku do prądu znamionowego ciągłego danego łącznika (I_{nc}).

Do grupy pierwszej, dla której dotychczas nie ustalono jeszcze wspólnej nazwy, norma zalicza łączniki o małym prądzie wyłączalnym, nie przekraczającym 0,2 I_{nc}.

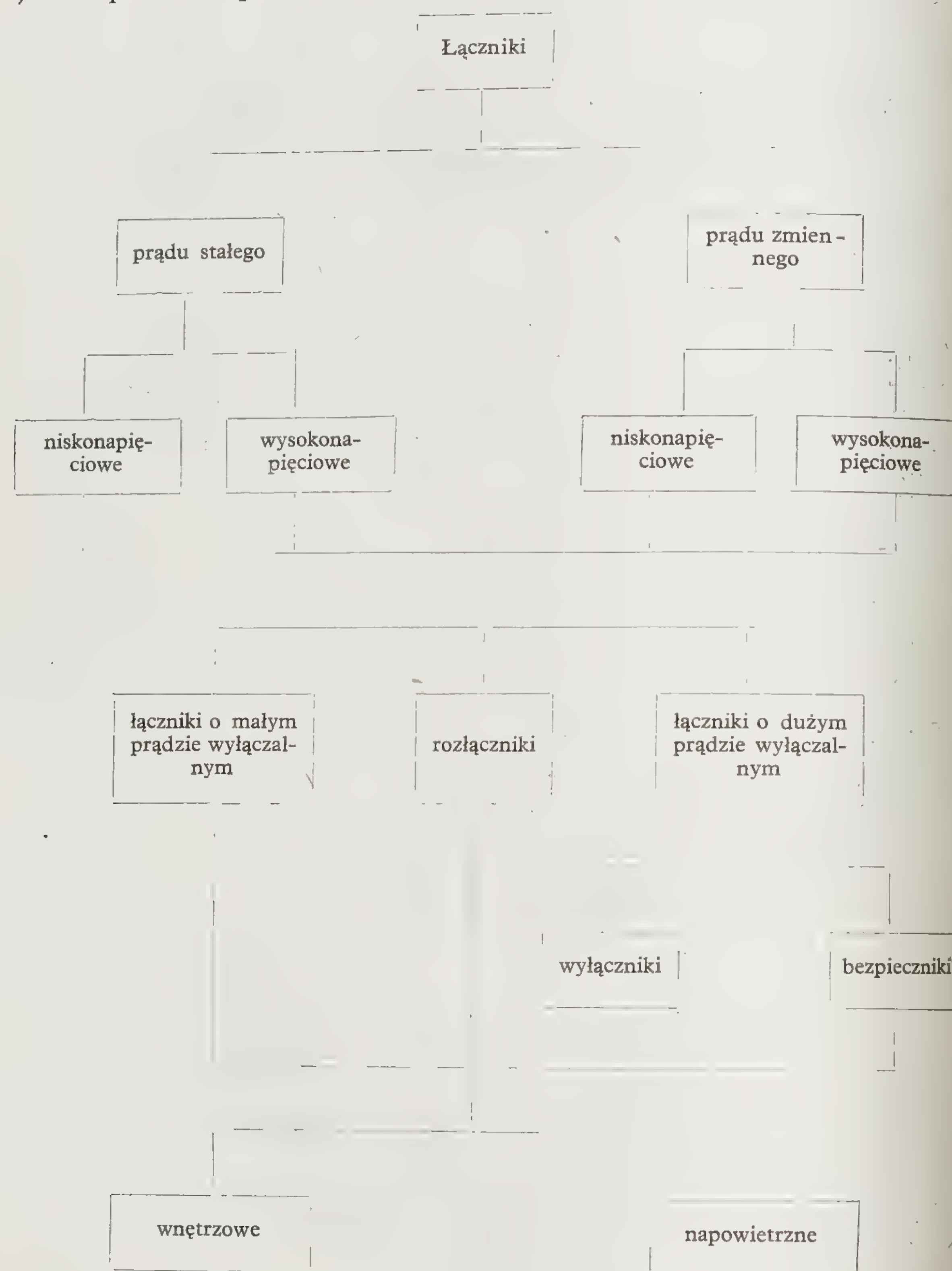
Jeśli łącznik jest przystosowany do wyłączania prądu o natężeniu od 0,2 I_{nc}, do 10 I_{nc}, to zalicza się go do grupy łączników o średnim prądzie wyłączalnym. Tę grupę łączników norma nazywa rozłącznikami.

Do trzeciej wreszcie grupy łączników o dużym prądzie wyłączalnym zalicza się te łączniki, w których natężenie prądu wyłączalnego przekracza co najmniej 10 krotnie wartość prądu znamionowego. Do grupy tej należą zasadniczo wyłączniki i bezpieczniki.

Wyłączniki powinny zasadniczo umożliwiać wyłączanie prądów zwarciowych. W cytowanej normie znajduje się następująca definicja wyłączników: wy-

łącznik jest to łącznik zdolny do wyłączania i załączania określonych prądów roboczych i zakłóceniowych, do długotrwałego przewodzenia prądów roboczych oraz do krótkotrwałego przewodzenia określonych prądów zakłóceniowych.

Bezpiecznikami nazywa się łączniki zdolne do jednokrotnego wyłączenia określone wartości prądu zakłóceniowego. Najpospolitszym typem bezpiecznika jest bezpiecznik topikowy.



Rys. 15. Schemat podziału łączników według ich zdolności do wykonywania określonej funkcji (wg PN/E-01000)

Do niedawna termin „wyłącznik" był wprawdzie w powszechnym użyciu, nie było to jednak pojęcie dokładnie określone, w dodatku obejmowało grupy aparatów, należące do różnych schematów klasyfikacyjnych. Wyłącznikami nazywano przełączniki i połączniki o napędzie ręcznym, stąd określanie tym mianem łączników stosowanych w domowych instalacjach oświetleniowych, na przykład „wyłącznik żyrandolowy", „wyłącznik hotelowy" itp.

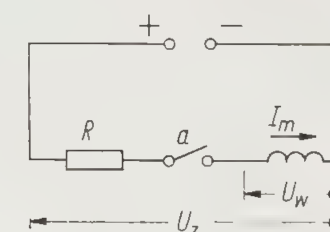
3. Parametry eksploatacyjne łączników

O funkcji przejścia układu sterowania decyduje jego struktura. Aby jednak układ mógł pracować poprawnie w warunkach eksploatacyjnych należy dobrać takie elementy, które zapewniłyby układowi wystarczająco dużą żywotność (trwałość) oraz duży stopień niezawodności pracy.

Parametrami, odgrywającymi decydującą rolę przy doborze łączników do projektowanego układu, są w pierwszym rzędzie: napięcie, obciążalność, trwałość, częstość łączeń i dokładność. Z uwagi na praktyczne znaczenie tych parametrów są one zwykle podawane przez producenta łącznika. W Polsce wartości parametrów i klasy łączników ustala norma państwowa PN-64/E-06150.

3.1. Napięcie znamionowe

Napięcie znamionowe zestyków określa maksymalną wartość napięcia w obwodzie zamykanym i otwieranym przez dany zestyk. Z napięciem tym wiąże się ściśle dopuszczalne obciążenie prądowe zestyku w momencie otwierania obwodu, zależne prócz tego od rodzaju prądu i indukcyjności obwodu, o czym będzie mowa w następnym paragrafie pkt 3.2). Należy pamiętać, że napięcie znamionowe zestyków mierzy się między jego stykami w stanie otwartym. Jeśli więc za pomocą zestyku (rys. 16) jest sterowane np. zasilanie wzbudzenia sprzęgła elektromagne-



Rys. 16. Ustalenie parametrów łącznika w obwodzie

tycznego ze źródła o napięciu U_z wyższym od napięcia znamionowego uzwojenia wzbudzenia U_w, odpowiednio obniżonym przez rezystor redukcyjny R, to należy dobrać łącznik, którego zestyk a może otwierać obwód prądu o natężeniu nie mniejszym od I_m (natężenie wzbudzenia sprzęgła) i przy napięciu nie mniejszym, niż napięcie zasilania U_z, przy czym stała czasowa podana w charakterystyce technicznej łącznika nie może być mniejsza od stałej czasowej danego obwodu (obliczonej z uwzględnieniem rezystora redukcyjnego R).

Napięcie robocze zestyków łącznika nie może przekraczać jego napięcia znamionowego, może być natomiast od niego nawet znacznie niższe. Natomiast wartość napięcia znamionowego uzwojeń wzbudzenia przekaźników i styczników napięciowych nie jest wartością graniczną i napięcie robocze może się od znamionowego różnić niewiele w obie strony. Granicę dopuszczalnych różnic po-

między napięciem wzbudzenia roboczym a znamionowym ustala norma, bądź też producent. Nasza norma PN-64/E-06150 postanawia, że łączniki o napędzie elektromagnetycznym powinny pracować poprawnie przy napięciu zasilania wzbudzenia nie mniejszym niż 85% i nie większym niż 105% napięcia znamionowego.

Polska norma branżowa wyposażenia elektrycznego obrabiarek ustala następujące wartości napięć zasilania obwodów sterowania:

— dla prądu zmiennego: 48, 110 i 220 V;

— dla prądu stałego: 24 V (nie zalecane), 48, 110, 220 lub 250 V.

W układach sterowania obrabiarek o dużym stopniu zautomatyzowania, przeznaczonych do obróbki w produkcji wielkoseryjnej i zasilanych prądem zmiennym, nie jest również zalecane stosowanie napięcia 48 V. Zastrzeżenia te spowodowane są występowaniem poważnych spadków napięć w obwodach sterowania, w skład których wchodzą niejednokrotnie bardzo długie przewody, oraz niepewną pracą styków przy niskich napięciach. Należałoby w takich przypadkach stosować styki złote, jednak dla złota napięcia powyżej 20 V są już napięciami dużymi, mogącymi powodować zgrzewanie się styków, chyba że obciążenie prądowe będzie małe.

Niektórzy producenci dostarczają styczniki i przekaźniki, przystosowane do zasilania prądem zmiennym o częstotliwości 50 lub 60 Hz z tym, że ze zmianą częstotliwości zmienia się również znamionowe napięcie wzbudzenia. W takich przypadkach norma zezwala, aby jedno z napięć wzbudzenia nie odpowiadało żadnej z wyżej podanych wartości.

3.2. Obciążalność zestyków

Podstawowym parametrem dla określenia wielkości łącznika jest obciążalność cieplna jego zestyków, zwana znamionowym prądem ciągłym łącznika. Jest to maksymalna wartość prądu, jaki mogą przewodzić zestyki łącznika bez nadmiernego nagrzewania się w danych warunkach pracy.

Jeśli jednak łącznik przewidziany jest do częstego zamykania i otwierania obwodów prądowych, to decydujące znaczenie dla trwałości jego zestyków ma niszczące działanie łuku elektrycznego, występującego między stykami w momencie otwierania zestyków. Dopuszczalna wartość natężenia prądu przy otwieraniu obwodu przez dany zestyk zależy od wielu czynników, jak: rodzaj prądu (zmienny, czy stały), wartość napięcia między stykami otwartego zestyku oraz charakter obwodu, a więc, czy jest to obwód składający się wyłącznie z oporności czynnej, czy również z indukcyjnej i ewentualnie pojemnościowej. Producent łączników określa zazwyczaj kilka spośród możliwych wariantów, podając np. zdolność przerywania obwodu prądowego przez dany łącznik oddzielnie dla prądu zmiennego, oddzielnie dla stałego, jeśli dany łącznik jest przewidziany dla obu rodzajów prądu; zdolność łączeniową dla wybranych stosunków oporności czynnej i indukcyjnej obwodu itp. W przypadku łączników pomocniczych o małym prądzie znamionowym producent może zastrzec, że dane dotyczące obciążalności dotyczą jedynie przypadku, gdy w obwodzie z indukcyjnością zastosowano odpowiednie zabezpieczenie przed nadmiernym wzrostem siły elektromotorycznej otwieranego obwodu.

W charakterystyce technicznej łącznika określa się zwykle dane, dotyczące zdolności przerywania obwodu prądowego w zależności od napięcia i charakteru oporności obwodu. Gdy napięcie zasilające obwód sterowany maleje, rośnie dopuszczalna wartość natężenia prądu, jednakże zależność ta jest odwrotnie proporcjonalna tylko w przypadku małych pomocniczych łączników prądu stałego i wtedy zdolność zestyków określa się dopuszczalną mocą sterowaną przez dany zestyk. W innych przypadkach moc, która może być sterowana przez zestyk maleje dość wyraźnie, gdy maleje napięcie zasilania sterowanego obwodu. Charakterystyki techniczne ustalają zwykle dopuszczalne obciążenie zestyków przy przerywaniu obwodu dla dwóch rodzajów obwodów: a) obwody rezystancyjne i b) obwody o określonej wartości $\cos\varphi$ (obwody prądu przemiennego) lub określonej wartości stałej czasowej $\frac{L}{R}$ (obwody prądu stałego). Polska norma (PN-64/E-06150) dla pierwszego przypadku ustala wartość $\cos\varphi \geqslant 0{,}3$, dla drugiego zaś $T = \frac{L}{R} \leqslant 15$ milisekund.

W większości spotykanych w praktyce obwodów sterowania i napędu elektrycznego obrabiarek wartości $\cos\varphi$ i stałej czasowej T, odpowiadają wymaganiom normy.

W wielu przypadkach zestyk, pracujący w obwodzie, przez który płynie prąd o natężeniu nie przekraczającym obciążalności cieplnej łącznika, może podlegać silnym, krótkotrwałym obciążeniom w momencie zamykania obwodu. Tego rodzaju uderzenia prądowe występują w obwodach zasilania lamp elektrycznych żarowych, gdyż oporność żarnika w stanie zimnym jest znacznie mniejsza niż w stanie rozżarzonym. Duże lecz krótkotrwałe uderzenia prądowe występują także przy zamykaniu obwodów o znacznej pojemności; duże i stosunkowo długotrwałe prądy załączania występują w obwodach zasilania silników podczas rozruchu. Normy i dane katalogowe określają zwykle dla typowych określonych warunków pracy zdolność manewrową łącznika obejmując tą wartością warunki obciążenia zestyków przy zamykaniu i otwieraniu obwodu prądowego oraz przy przewodzeniu ciągłym. W przypadku styczników prądu zmiennego zdolność łączeniową określa się przez podanie maksymalnej mocy silnika elektrycznego, jakim może sterować dany stycznik. Moc ta maleje wraz z napięciem zasilania silnika, mimo, że przy zmniejszaniu się napięcia rośnie dopuszczalna wartość natężenia prądu w obwodzie mocy otwieranym przez zestyki stycznika. Należy o tym pamiętać zwłaszcza w przypadku, gdy wyposażenie obrabiarki, dostosowane do sterowania silnikami zasilanymi z sieci 3 × 380 V trzeba dostosować do sieci zasilającej 3 × 220 V.

Natężenie prądu w obwodzie mocy po jego zamknięciu (w okresie rozruchu silnika) oraz natężenie prądu w momencie otwierania obwodu zależy od typu i obciążenia silnika. Norma ustalając zdolność łączeniową styczników prądu zmiennego zakłada, że prąd rozruchowy indukcyjnego klatkowego silnika trójfazowego jest sześciokrotnie większy od jego prądu znamionowego i że sterowanie dotyczy silnika obciążonego mocą znamionową przez cały czas pracy oraz w momencie wyłączania. Zakłada się, że wyłączenie silnika następuje zawsze po zakończeniu pełnego rozruchu. W praktyce napędu obrabiarkowego warunki eksploatacyjne są przeważnie łagodniejsze, ponieważ silnik jest uruchamiany i wyłączany na biegu jałowym.

Znacznie cięższe warunki pracy stycznika występują wówczas, gdy wyłączanie silnika odbywa się przed zakończeniem rozruchu. Norma (PN-64/E-06150) klasyfikuje różne warunki pracy dla silników prądu stałego *DC* i zmiennego *AC*. Wskaźnik cyfrowy po oznaczeniu literowym *AC* lub *DC* oznacza kategorię pracy, tym trudniejszą, im wyższy jest numer tego wskaźnika. Tak na przykład wspomniane wyżej warunki sterowania silnika prądu zmiennego odpowiadają kategoriom pracy AC_3 (wyłączanie przy prądzie znamionowym) i AC_4 (wyłączanie przy prądzie rozruchowym).

Trwałość manewrowa styków przykładowego stycznika przy obciążeniu prądem znamionowym silnika $I_n = 14$ A wynosi $35 \cdot 10^5$ manewrów (tzn. przestawień pod obciążeniem), gdy stycznik pracuje stale w kategorii AC_3, spada

zaś do 10^5 manewrów, gdy stycznik pracuje stale w kategorii AC_4. W napędzie obrabiarkowym rzadko konieczne jest wyłączanie silnika w okresie rozruchu. Zdarza się to jedynie przy tak zwanym impulsowaniu silnika. Przy obciążeniu mieszanym (prądem znamionowym i prądem rozruchowym) trwałość manewrowa łącznika jest niższa niż przy obciążeniu znamionowym, znacznie jednak wyższa, niż przy obciążeniu prądem wyłącznie rozruchowym.

W katalogu styczników serii K915/K916 firma Siemens podaje empiryczny wzór dla obliczania trwałości manewrowej styków w przypadku obciążenia mieszanego. Wzór ten został oparty jedynie o wyniki badań styczników K915, można się nim jednak z pewną dozą ostrożności posługiwać również przy określaniu trwałości manewrowej styków innych typów styczników

$$x = \frac{A}{1+\frac{C}{100}\left(\frac{A}{B}-1\right)}$$

We wzorze tym przyjęto następujące oznaczenia:
- x — trwałość manewrowa przy obciążeniu mieszanym,
- A — trwałość manewrowa przy obciążeniu mniejszym (np. przy pracy AC_3),
- B — trwałość manewrowa przy obciążeniu większym,
- C — procentowa liczba wyłączeń przy obciążeniu większym określana w stosunku do ogólnej liczby wyłączeń.

W podanym poprzednio przykładzie założono $A = 35 \cdot 10^5$, $B = 10^5$. Jeśli przyjąć, że ilość wyłączeń podczas rozruchu silnika nie przekracza 10% ogólnej liczby manewrów, a więc, że $C = 10$, to ze wzoru (1) wynika, że trwałość manewrowa w danych warunkach pracy wynosi $x = 8 \cdot 10^5$ manewrów.

3.3. Trwałość

Wspomniana wyżej trwałość manewrowa jest ważnym parametrem eksploatacyjnym łączników. Parametr ten określa maksymalną liczbę manewrów w określonych warunkach pracy i przy określonym obciążeniu, które powinien wykonać łącznik bez konieczności wymiany styków na nowe.

Sam łącznik podlega obciążeniom mechanicznym, w wyniku których po pewnym czasie ulegnie on uszkodzeniu, nawet jeśli jego zestyki nie przewodzą w tym czasie żadnego prądu. Trwałość łącznika w takich warunkach nazywamy trwałością mechaniczną i określamy ją, podając maksymalną liczbę przestawień, jakie łącznik powinien znieść bez uszkodzenia.

Ponieważ koszt styków stanowi zazwyczaj niewielki procent wartości całego łącznika przeznaczonego do sterowania obwodów mocy, łączniki są z reguły tak konstruowane, aby zużyte styki można było łatwo wymieniać na nowe. Takie rozwiązanie konstrukcyjne jest jednak kosztowniejsze od rozwiązania nie dającego możliwości wymiany styków, i dlatego jest ono stosowane jedynie wtedy, gdy trwałość mechaniczna łącznika jest wielokrotnie wyższa od jego trwałości manewrowej. Normy państwowe, w tej liczbie również polska norma, precyzują, że trwałość manewrowa nie może być mniejsza, niż jedna dwudziesta trwałości mechanicznej łącznika.

W łącznikach przewidzianych do wykonywania czynności łączeniowych w obwodach małej mocy (np. w obwodach sterowania) ze względów konstrukcyjnych i technologicznych nie przewiduje się na ogół wymiany zużytych styków. Należy więc pamiętać, że dla tego typu aparatów pojęcie trwałości mechanicznej ma inny sens praktyczny, niż dla styczników i innych łączników mocy. W łącznikach bez możliwości wymiany zużytych styków trwałość mechaniczną można utożsamiać z trwałością łączeniową przy bardzo małym obciążeniu styków w porównaniu z ich obciążalnością znamionową.

Trwałość łączników (mechaniczna i manewrowa) jest istotnym parametrem z punktu widzenia niezawodności pracy oraz wytycznych konserwacji układu. Jest to jednak parametr, którego wartość ustalić jest ogromnie trudno. Wymaga to prowadzenia długotrwałych prób i badań, aż do momentu zużycia styków (trwałość manewrowa), lub uszkodzenie łącznika (trwałość mechaniczna). Wyniki takich badań trzeba więc ekstrapolować na egzemplarze nie badane. Aby jednak ekstrapolacja taka miała sens techniczny, czyli aby wyciągnięte z badania wnioski znajdowały potwierdzenie w praktyce eksploatacyjnej, muszą być spełnione dodatkowe warunki: a) powinna być zachowana jednorodność produkcji łączników, a to oznacza między innymi utrzymanie jednakowej jakości materiałów i półfabrykatów, użytych do wyrobu tych łączników; b) badania muszą obejmować odpowiednio dużą liczbę egzemplarzy danego typu łącznika, pobranych drogą losową z różnych serii produkcyjnych; c) badania takie powinny być prowadzone systematycznie, w sposób ciągły, w określonych, niezbyt odległych odstępach czasu (np. raz do roku). Dodatkowo badania trwałości manewrowej łączników większej mocy napotykają na poważne trudności techniczne ze względu na konieczność przygotowania obwodów, odpowiadających warunkom badania danego typu łącznika. Badania zaś trwałości mechanicznej pochłaniają wiele czasu, ponieważ nowoczesne łączniki manewrowe i elementy sterowania mają trwałość mechaniczną przekraczającą 10^7 przestawień, a częstość przestawień ze względu na występowanie sił dynamicznych nie może być zbyt duża.

Producenci w różny sposób ustalają liczbę, którą podają w prospektach jako trwałość danego aparatu. Niektórzy producenci określają trwałość swych wyrobów na podstawie średniej arytmetycznej wyników badań przeprowadzonych na pewnej liczbie egzemplarzy wyrobu. Obliczenie takie jest niewłaściwe, gdyż nie określa użytkownikowi rozrzutu trwałości różnych egzemplarzy tego samego typu aparatu. Tymczasem właśnie rozrzut parametrów technicznych jest zjawiskiem, które decyduje o trwałości aparatów danej produkcji.

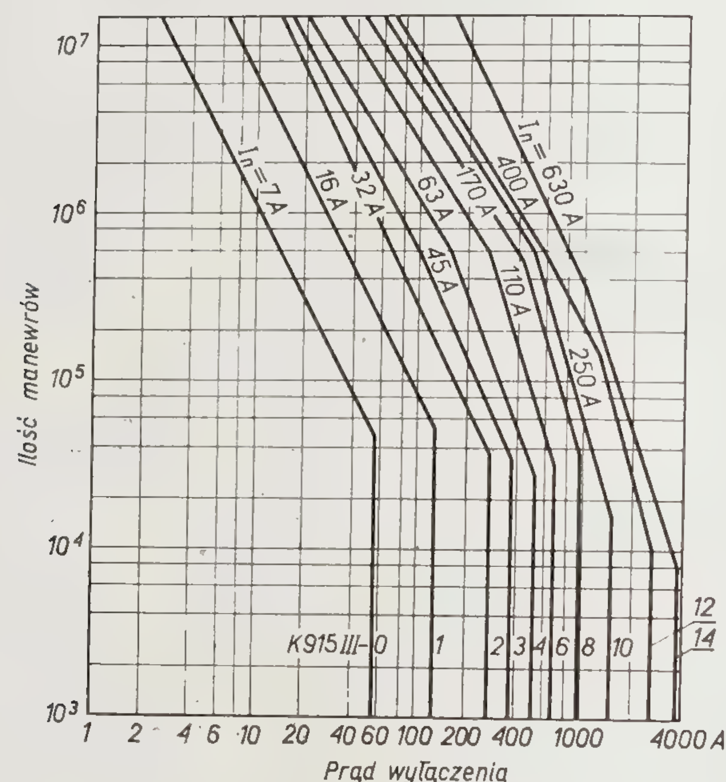
Właściwym sposobem określania trwałości aparatów jest ten, który na podstawie badań, przeprowadzonych na odpowiednio dużej liczbie egzemplarzy pozwala przewidywać, że przeważająca większość egzemplarzy wykaże podczas eksploatacji trwałość nie mniejszą od podanej, a tylko niewielki procent trwałość mniejszą, i to niewiele odbiegającą od ustalonej.

Dlatego też podawanie przez producenta trwałości wyrobów ma sens tylko wtedy, gdy jednocześnie jest określone, jaki procent egzemplarzy danego wyrobu może wykazać trwałość nie mniejszą od podanej oraz zapewnione, że przypadki trwałości wyraźnie mniejszej są przypadkami wyjątkowymi, obejmującymi znikomy ułamek procentu produkowanych egzemplarzy.

W wielu krajach określanie trwałości ujęto w normach ustalając minimalny procent egzemplarzy, które muszą wykazywać trwałość nie mniejszą od podawanej przez producenta. Procent ten równa się zwykle 95. Aby nie dopuścić do produkcji aparatów niezgodnych z normą poważne firmy dążą do osiągnięcia wyznaczonej trwałości przez większy odsetek aparatów (np. 96% zamiast 95%).

Obecnie obowiązująca w Polsce norma PN-61/E-06150 opiera kontrolę trwałości łączników na przeprowadzeniu badań partii ośmiu łączników (a nawet w pewnych przypadkach czterech) danego typu, co nie daje jednak pewności, że wystarczająco wysoki odsetek aparatów wykaże w eksploatacji trwałość, jaką uzyskano przy badaniach tak małej liczby próbek. Ten przestarzały przepis ma zostać w niedługim czasie zmieniony.

Na trwałość mechaniczną danego łącznika użytkownik nie ma wpływu (jeśli nie uwzględniać możliwości zmniejszenia trwałości przez niewłaściwą eksploatację i konserwację aparatu). Natomiast trwałość styków może się istotnie zmieniać w stosunku do trwałości manewrowej, podawanej w charakterystyce technicznej łącznika, w zależności od różnicy między obciążeniem znamionowym, a rzeczywistym. Dla wygody użytkowników stosujących styczniki do sterowania pracą trójfazowych silników klatkowych poważniejsi producenci sporządzają zwykle diagramy, z których można odczytać trwałość styków głównych, wyrażoną w liczbie manewrów, w zależności od typu zastosowanego stycznika i obciążenia styków w chwili przerywania obwodu mocy. Na rys. 17 przedstawiono przykładowo taki diagram, opracowany przez firmę Siemens dla styczników serii K915. W diagramach innych firm spotyka się czasem określenie obciążenia przez podawanie mocy i napięcia zasilania silnika, sterowanego przez dany stycznik.



Rys. 17. Przykład diagramu trwałości manewrowej łącznika w zależności od obciążenia (z katalogu firmy Siemens)

3.4. Częstość łączeń

Charakterystyki techniczne łączników z napędem elektromagnesowym określają zwykle maksymalną dopuszczalną częstość łączeń na godzinę.

Do uzyskania strumienia magnetycznego, niezbędnego dla przyciągnięcia zwory potrzebny jest znacznie większy przepływ prądu wzbudzenia, niż dla przytrzymania już przyciągniętej zwory. Po przyciągnięciu zwory można więc prąd wzbudzenia zmniejszyć. W przypadku zasilania obwodu wzbudzenia prądem zmiennym osiąga się samoczynne częściowe zmniejszenie prądu wzbudzenia dzięki temu, że w miarę zmniejszania się szczeliny powietrznej między zworą a rdzeniem elektromagnesu rośnie induktancja uzwojenia. W większych stycznikach wzbudzanych prądem stałym stosuje się do tego celu rezystor redukcyjny, zwarty w spoczynkowym stanie stycznika przez jego zestyk rozwierny; z chwilą przyciągnięcia zwory zestyk otwiera się i rezystor zostaje włączony w obwód wzbudzenia. W obu tych przypadkach występuje znacznie intensywniejsze nagrzewanie się uzwojeń cewki podczas załączania stycznika niż w jego stanie ustalonym, co zmusza do ograniczenia częstości manewrów.

Wspomnianemu otwieraniu zestyku bocznikującego rezystor redukcyjny towarzyszy powstawanie w uzwojeniach wzbudzenia stycznika znacznej sem., powodującej iskrzenie, lub nawet występowanie łuku między stykami tego zestyku. Prowadzi to do szybkiego zniszczenia styków. Jeśli więc stosuje się tego rodzaju styczniki, to jest pożądane zastosowanie jednego ze sposobów zabezpieczania zestyków przed iskrzeniem, opisanych w następnym rozdziale.

Podawana w charakterystyce technicznej stycznika maksymalna częstość łączeń odnosi się do przypadków częstego załączania i wyłączania stycznika przez dłuższy okres czasu. W praktyce w układach sterowania przekaźnikowego zdarza się często, że przez krótki okres czasu (parę sekund) obwód wzbudzenia jest zamykany i otwierany ze znaczną częstością, przekraczającą maksymalną częstość łączeń, po czym częstość łączeń spada wyraźnie poniżej dopuszczalnego maksimum. Takiego rodzaju wykorzystanie stycznika jest często możliwe, ponieważ w ciągu paru sekund ani cewka, ani zestyki stycznika nie zdążą się nadmiernie nagrzać. Obecnie coraz częściej w charakterystyce technicznej podawana jest wartość maksymalnej, chwilowej częstości łączeń, określana z myślą o podobnych sytuacjach. Tej ostatniej wartości nie można już przekraczać nawet przez bardzo krótki okres czasu.

W nowoczesnych stycznikach dopuszczalna długotrwała częstość łączeń dochodzi do około 1000 na godzinę, chwilowa zaś wynosi około 3000 na godzinę.

Ograniczenie częstości łączeń stycznika jest spowodowane również nagrzewaniem się styków, gdyż prąd rozruchu płynący przez styki przy załączaniu silnika jest kilkakrotnie większy od prądu znamionowego. We wszystkich zaś przypadkach otwierania zestyków towarzyszy nagrzewanie się styków pod wpływem łuku elektrycznego.

3.5. Dokładność

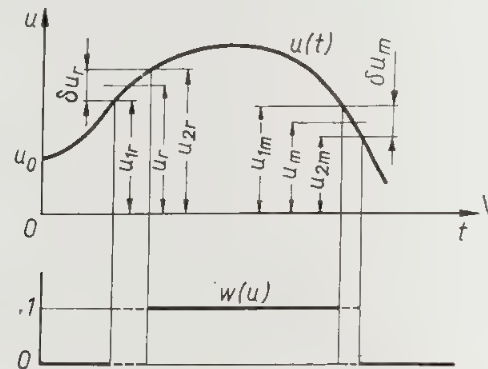
Czujniki oraz takie przekaźniki, które reagują na graniczne wartości sygnału wejściowego, są aparatami, przyjmującymi sygnały wejściowe ciągłe i wysyłającymi sygnały wyjściowe, zmieniające się skokowo.

Podawana w katalogach wartość graniczna sygnału wejściowego, przekazywana na wyjście aparatu, nie jest wielkością jednoznacznie określoną dopóki nie poda się dolnej i górnej granicy pola tolerancji, wewnątrz krótego znajduje się ta wartość sygnału wejściowego, której przekroczenie spowoduje zmianę stanu sygnału wyjściowego.

Na rysunku 18 przedstawiono zmiany sygnału wejściowego u w funkcji czasu t oraz wykres dwuwartościowego sygnału wyjściowego w, będącego funkcją u. Jeden z poziomów sygnału w oznaczono jak zwykle przez 0, drugi przez 1.

Można założyć, że w chwili $t = 0$ sygnał u ma wartość u_0 taką, że $w = 0$. Zmiana poziomu sygnału w nastąpi wtedy, gdy sygnał $u(t)$ osiągnie wartość u_r. Teoretyczna wartość graniczna u_r nie jest jednak wielkością bezwzględnie stałą i ulega zmianom w zależności od wielu, trudnych nieraz do ustalenia czynników. Tę zmienność u_r określamy zwykle terminem „rozrzut", a uwzględniamy, biorąc pod uwagę zamiast wartości u_r te wartości sygnału wejściowego, które są zawarte w polu tolerancyjnym $\delta u_r = u_{2r} - u_{1r}$, przy wzroście bowiem wartości u zmiana poziomu sygnału wyjściowego może nastąpić już wtedy, gdy $u = u_{1r}$, albo dopiero wtedy, gdy $u = u_{2r}$.

Gdy po przekroczeniu przez sygnał wejściowy wartości powodującej zmianę poziomu sygnału wyjściowego z 0 na 1 zacznie on z powrotem maleć, nastąpi w pewnym momencie powtórna zmiana poziomu sygnału wyjściowego, tym razem z 1 na 0. Odpowiednią teoretyczną wartość graniczną sygnału u oznaczyć można przez u_m. Podobnie jak to było w przypadku wartości u_r, również wartość graniczna u_m nie jest wielkością ściśle wyznaczoną i wykazuje również rozrzut odpowiadający polu tolerancyjnemu $\delta u_m = u_{2m} - u_{1m}$.



Rys. 18. Przykład zależności sygnału wyjściowego w od sygnału wejściowego u czujnika

Poprawna praca czujnika wymaga oczywiście, by była spełniona zależność $u_r > u_m$. Wartość różnicy $u_r - u_m$, nazywa się **polem nieczułości czujnika** a w czujnikach mechanicznych różnica ta jest zwykle nazywana **drogą zbrojenia**. Ze zmniejszaniem pola nieczułości rosną trudności konstrukcyjne i technologiczne wykonania czujnika, a więc i jego cena, a w eksploatacji nie zawsze mała nieczułość jest konieczna. Np. czujnik kopiujący, powinien odznaczać się możliwie małą wartością różnicy $u_r - u_m$. Z wykresu (rys. 18) widać, że ze względu na rozrzut nieczułość czujnika może wzrosnąć do $u_{2r} - u_{2m}$, a więc do $2\delta u$ (jeżeli $\delta u_r = \delta u_m$).

Dla czujników regulujących ciśnienie w układzie hydraulicznym przez załączanie i wyłączanie pompy ładującej akumulator pneumatyczno-hydrauliczny zbyt mała wartość nieczułości może być wadą czujnika, powoduje ona bowiem niepotrzebnie zbyt częste uruchamianie i wyłączanie silnika pompy. Zbyt duża nieczułość natomiast powoduje występowanie znacznych wahań ciśnienia w układzie.

Omówione pole tolerancji powiększa się znacznie, gdy zamiast określonego egzemplarza czujnika rozpatruje się czujniki określonego typu. To rozszerzone pole tolerancyjne oznaczymy przez Δu. Pole tolerancji δu leży całkowicie wewnątrz pola Δu, nie wiadomo jednak jak jest ono usytuowane. Dlatego zwłaszcza w czujnikach o dużej dokładności należy przewidzieć możliwość wstępnego regulowania wartości granicznej u_r. Jest to specjalnie ważne w przypadku konieczności wymiany czujnika.

W zależności od rodzaju i przeznaczenia czujnika producent podaje albo wszystkie omówione wyżej parametry, albo tylko niektóre. Jeżeli w charakterystyce technicznej podano jedynie wartość graniczną u_r oraz nieczułość, należy rozumieć, że u_r oznacza górną wartość sygnału granicznego u_r, którą na rys. 18 oznaczono u_{2r}. Aby otrzymać dolną wartość sygnału u_m, należy od podanej wartości u_r odjąć wartość nieczułości, znalezioną z charakterystyki technicznej danego typu czujnika. Ta wartość nieczułości powinna zasadniczo obejmować również rozrzut, występujący pomiędzy różnymi egzemplarzami czujnika.

Rozdział drugi

Łączniki stosowane w układach sterowania przekaźnikowego

Poniżej zostaną omówione szczegóły konstrukcyjne i te parametry techniczne łączników zestykowych, stosowanych w układach sterowania przekaźnikowego obrabiarek, od których zależy jakość eksploatacyjna łączników i niezawodność układu.

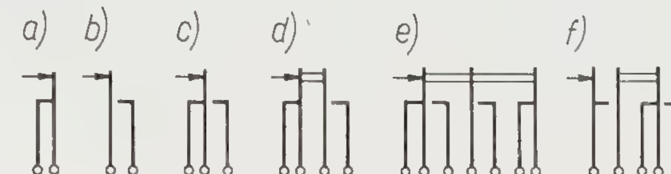
1. Przekaźniki elektromagnetyczne

Elektromagnetyczne przekaźniki stosowane w automatyce maszynowej stanowią odrębną grupę, różniącą się np. od przekaźników energetycznych znacznie większą trwałością mechaniczną, bardziej zwartą budową, większą odpornością na wstrząsy itp. Trwałość mechaniczna przekaźników, stosowanych w układach automatyki maszynowej, przekracza na ogół 10^7 przestawień. Przekaźniki stosowane w automatyce maszynowej dzieli się pod względem konstrukcyjnym zwykle na dwie grupy: przekaźniki małogabarytowe, zwane również przekaźnikami właściwymi i styczniko-przekaźniki.

1.1. Przekaźniki małogabarytowe

W przekaźnikach tej grupy główny nacisk został położony na osiągnięcie małych wymiarów zewnętrznych oraz małej mocy pobieranej przez obwód wzbudzenia, a więc na czułość przekaźnika.

Ruchome i nieruchome styki przekaźników wykonywane są z pasków blachy sprężystej i nazywają się sprężynami przekaźnika. Na rysunku 19 przedstawiono kolejno: a) zestyk rozwierny, b) zestyk zwierny, c) zestyk przełączający przekaźnika.



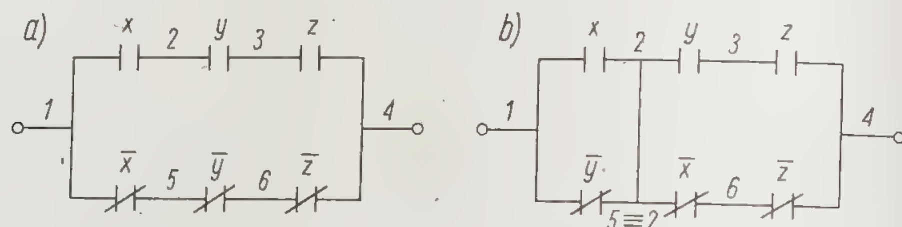
Rys. 19. Zestyki przekaźników małogabarytowych: a) rozwierny; b) zwierny; c) przełączający; d) i e) zestawy zestyków w wykonaniu normalnym; f) zestaw w wykonaniu specjalnym z jedną parą zestyków przełączających bezprzerwowo

Mała moc wzbudzenia przekaźników powoduje ograniczenie siły przyciągania zwory przez rdzeń, wobec czego przekaźniki takie można wyposażyć w ograniczoną liczbę sprężyn. Ponieważ zwykle stosuje się jednocześnie zestyki zwierne i rozwierne, wygodnie jest wyposażyć przekaźnik w zestyki przełączające.

Tak wykonane przekaźniki zmuszają jednak projektanta układu sterowania do specjalnego grupowania zwiernych i rozwiernych zestyków w obwodach ukła-

du, celem pełnego wykorzystania wszystkich zestyków przekaźnika. Możliwe jest to jedynie wtedy, gdy w układzie każda para zestyków, złożona z jednego zwiernego i jednego rozwiernego zestyku tworzy rozgałęzienie typu Y z jednym wspólnym doprowadzeniem do obu zestyków pary. Każdy zestyk (zwierny lub rozwierny), którego nie można skojarzyć z drugim zestykiem przeciwnego rodzaju w parę tworzącą zestyk przełączający, zmusza do pozostawienia w przekaźniku jednego zestyku niewykorzystanego. Czasem przegrupowanie zestyków w pary jest możliwe dopiero po wprowadzeniu pewnych zmian lub uzupełnień do struktury obwodu. Oczywiście zmiany takie nie mogą dotyczyć transmitancji obwodu.

W obwodach przedstawionych na rys. 20 zestyk zwierny x i zestyk rozwierny $\bar{x}$ przekaźnika X są połączone ze sobą przewodem *1*, co pozwala na zastosowanie zestyku przełączającego x-$\bar{x}$. Podobnie można zastosować zestyk przełączający z-$\bar{z}$ przekaźnika Z, ponieważ zestyki te są na schemacie połączone wspólnym przewodem *4*. Natomiast zestyki y-$\bar{y}$ należące do tego samego przekaźnika Y nie



Rys. 20. Przykład przegrupowania zestyków z wykorzystaniem zestyków przełączających

mogą należeć do tej samej pary zestyków przełączających, ponieważ nie mają punktów wspólnych. Jeżeli więc przekaźnik Y jest wyposażony w zestyki przełączające, to aby zmontować obwód według schematu przedstawionego na rys. 20a należy wykorzystać po jednym zestyku z dwóch par przełączających, pozostawiając drugie zestyki tych par nie wykorzystane (i nie nadające się do wykorzystania). Próby innego rozmieszczenia zestyków w przedstawionym obwodzie nie dają żadnych rezultatów. Wprowadzając jednak niewielkie przegrupowanie i jednocześnie dodatkowe połączenie przewodu *2* z przewodem *5*, otrzymuje się schemat przedstawiony na rys. 20b, w którym wszystkie zestyki tworzą pary przełączające. Połączenie przewodów *2* i *5* jest dozwolone, ponieważ nie zmienia transmitancji obwodu. Obwód w dalszym ciągu składa się jedynie z dwóch gałęzi: górnej, obejmującej zestyki zwierne x, y, z i dolnej z zestykami rozwiernymi $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$. Wprowadzona przez połączenie przewodów *2* i *5* gałąź boczna, złożona z przewodu *1*, zestyku x, przewodu $2 \equiv 5$, zestyku $\bar{x}$ itd. nie wprowadza żadnych zmian do funkcji obwodu. Gałąź ta pozostaje stale otwarta, ponieważ zawsze jest otwarty jeden z dwóch zestyków x lub $\bar{x}$. Podobnie stale otwarta pozostaje druga gałąź boczna *1*-$\bar{y}$-*2*-y-*3* itd.

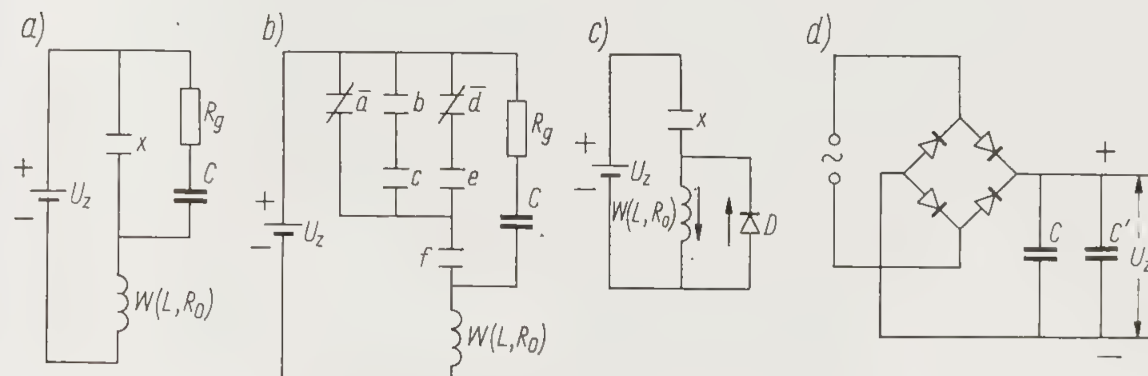
W przekaźnikach małogabarytowych odpowiednie powiązanie mechaniczne między stykami pozwala na wykonywanie specjalnych zestawów zestyków, w których zamykanie i otwieranie poszczególnych zestyków odbywa się w ustalonej kolejności. Zestawy pokazane na rys. 19c, d i e należą do wykonania normalnego, w którym najpierw otwierają się zestyki zamknięte, a następnie zamykają — otwarte. Natomiast kolejnść zamykania i otwierania zestyków jednego rodzaju nie jest określona: praktycznie przyjmuje się, że wszystkie zestyki zamknięte danego zestawu otwierają się jednocześnie, a wszystkie zestyki otwarte zamykają się jednocześnie. Oczywiście idealnej równoczesności nie może być, a niewielkie różnice w kształcie i roztawieniu sprężyn spowodują, że zawsze jeden zestyk zamknie się

lub otworzy nieco wcześniej, niż zestyk drugi. Kolejności tej nie można jednak przewidzieć. Ponieważ różnice w czasie przestawiania zestyków jednego łącznika są minimalne w porównaniu z czasem zamykania i otwierania zwory przekaźnika, na ogół zakładamy równoczesność przestawiania styków. W pewnych jednak przypadkach istotne jest właśnie to, aby np. najpierw zamknął się zestyk otwarty, a następnie otworzył zestyk zamknięty, albo też żeby otwieranie, czy zamykanie zestyków jednego typu odbywało się w ustalonej, a nie przypadkowej kolejności. Na rys. 19f podano przykłady zestawu zestyków spełniającego takie wymagania: przy zamykaniu zwory najpierw zamyka się zestyk zwierny lewy, następnie otwiera zestyk rozwierny, wreszcie zamyka zestyk zwierny prawy. Przy otwieraniu zwory kolejność przestawiania zestyków jest inna: najpierw otwiera się prawy zestyk zwierny, następnie zamyka zestyk rozwierny, a wreszcie otwiera się lewy zestyk zwierny.

W układach sterowania przekaźnikowego obrabiarek potrzeba wykorzystania określonej kolejności zamykania i otwierania zestyków jednego rodzaju nie występuje często. Znacznie częściej okazuje się celowym wykorzystanie możliwości takiego przestawienia pary zestyków zwierny-rozwierny, żeby w okresie przejściowym oba zestyki były przez chwilę zamknięte, jak to ma miejsce w przypadku lewego zestyku zwiernego i zestyku rozwiernego (rys. 19f). Taką parę zestyków nazywa się **parą zestyków przełączających bezprzerwowo**.

1.2. Zabezpieczenie przed iskrzeniem

Celem zabezpieczenia styków przekaźnika przed niszczącym je iskrzeniem powstającym przy przerywaniu obwodu prądowego o znacznej indukcyjności, stosuje się zwykle albo bocznikowanie zestyków przekaźnika przez obwód gaszący złożony z opornika R_g i kondensatora C (rys. 21a), albo włączenie diody półprze-



Rys. 21. Obwody gaszące: a) i b) obwody RC; c) wykorzystanie diody do zabezpieczenia zestyku przed iskrzeniem; d) filtrowanie sieciowych pików (szpilek) napięciowych na wyjściu prostownika

wodnikowej D równolegle z uzwojeniem, którego obwód zamyka i otwiera dany zestyk (rys. 21c). Oba sposoby przez stopniowe obniżanie do zera prądu płynącego w obwodzie powodują obniżenie siły elektromotorycznej samoindukcji przerywanego obwodu. Ponieważ sem obwodu o indukcyjności L równa się $E = L\frac{di}{dt}$, wobec tego im powolniej zanika w obwodzie prąd, tym mniejsza jest wartość E. Z drugiej jednak strony zbyt wolne zanikanie prądu w obwodzie nie jest pożądane, ponieważ jest ono równoznaczne z opóźnieniem wyłączenia zasilania uzwojenia W w stosunku do momentu otwarcia jego obwodu.

Gdy obwód uzwojenia $W(L, R_0)$ (rys. 21) jest zamknięty, płynie w nim prąd

o natężeniu $i_0 = \frac{U_z}{R_0}$, gdzie U_z jest napięciem zasilania obwodu, a R_0 – jego rezystancją (opornością czynną).

Projektując układ gaszący *RC* (rys. 21a) ustala się wartość oporności R_g tak, by w momencie otwierania zestyku *x* napięcie U_g między jego stykami nie było zbyt wysokie. Przyjmuje się zwykle, że napięcie to nie powinno być większe od napięcia zasilania, a więc $U_g \leqslant U_z$. Oznaczając przez *i* prąd płynący przez rezystor R_g i ładujący kondensator *C* oraz przez U_c różnicę potencjałów między okładzinami kondensatora $C\left(U_c = \int_0^t i\,\mathrm{d}t\right)$, można napisać

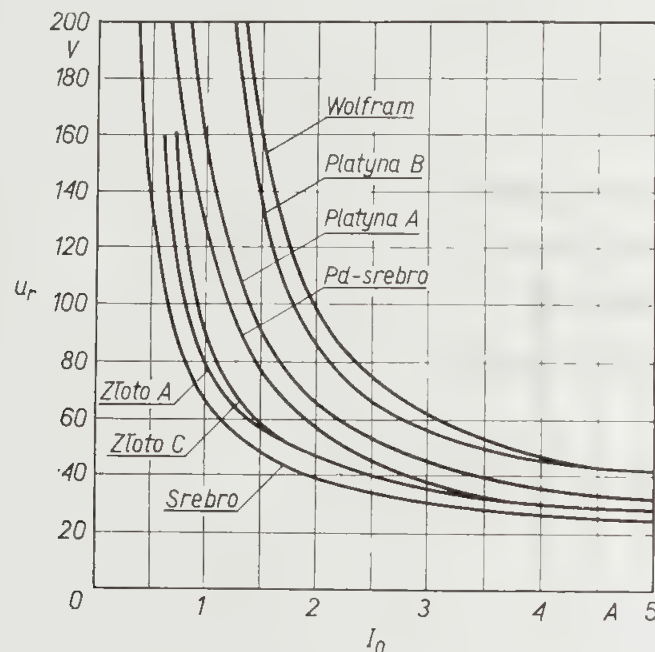
$$U_g = R_g i + U_c$$

W momencie otwierania zestyku $i = i_0$ (sem samoindukcji uzwojenia *W* podtrzymuje w pierwszej chwili to samo natężenie prądu), zaś kondensator *C* jest rozładowany, a więc

$$U_g = R_g i_0 = R_g \frac{U_z}{R_0}$$

Porównując tę wartość z podanym uprzednio warunkiem $U_g \leqslant U_z$, otrzymuje się $R_g \leqslant R_0$.

Praktycznie w zależności od konstrukcji i technologii wykonania styków oraz ich obciążenia podczas otwierania obwodu może się okazać, że dla uniknięcia iskrzenia należy jeszcze bardziej obniżyć napięcie między stykami. Zdarza się to wtedy, gdy minimalna wartość napięcia U_r, podtrzymującego palenie się łuku między stykami będzie niższa od U_z. Wartość U_r powinien podawać producent przekaźnika. Na rys. 22 przedstawiono wykresy zależności U_r od natężenia prą-



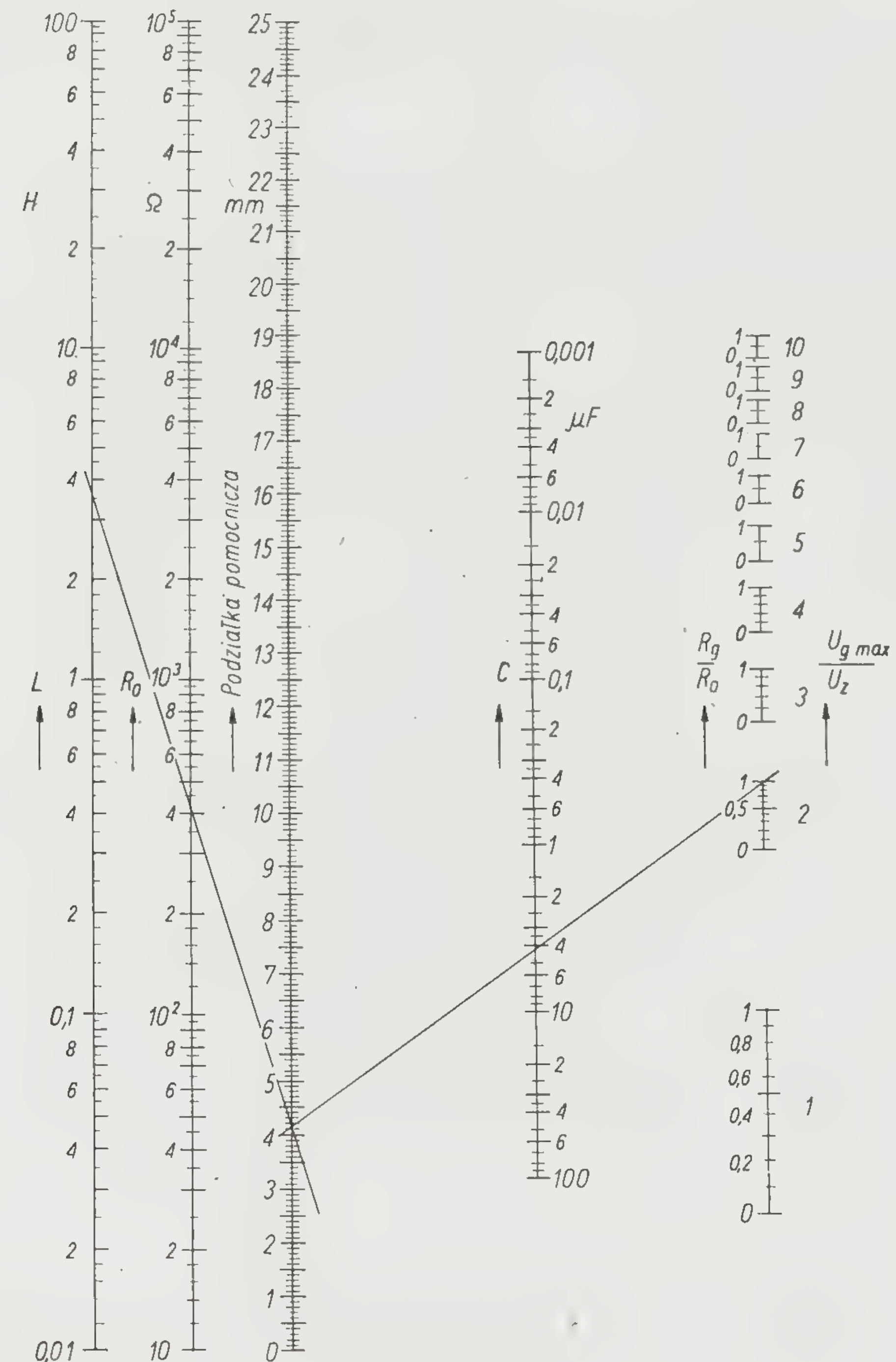
Rys. 22. Wykres zależności między napięciem U_r, podtrzymującym łuk między stykami, materiałem styków i ich obciążeniem prądowym (wg publikacji firmy Siemens)

du I_0 płynącego w obwodzie dla styków wykonanych z różnych materiałów. Wykresy dotyczą przekaźników firmy Siemens, jednakże w przybliżeniu można z nich korzystać również przy rozważaniu parametrów innych przekaźników.

Trudniejszy jest dobór odpowiednich parametrów kondensatora *C*. Jeśli ma on małą pojemność, to U_c szybko rośnie, i szybko maleje natężenie *i*, w rezultacie czego napięcie U_g może wzrosnąć aż do wartości, powodującej zapłon łuku elektrycznego między stykami. Jednakże stosowanie kondensatora *C* o zbyt dużej pojemności powoduje znaczne opóźnienie wyłączenia uzwojenia *W* w stosunku do momentu otwarcia obwodu. Prócz tego stosowanie kondensatora o dużej pojemności związane jest z trudnościami technicznymi zwłaszcza dlatego, że w układach przemysłowych należy unikać stosowania kondensatorów elektrolitycznych, łatwo podlegających starzeniu się.

Jeżeli obwód zasilania uzwojenia *W* jest otwierany przez człon złożony z szeregu zestyków, to wystarczy dać jeden obwód gaszący *RC*, połączony równolegle z tym członem (rys. 21b).

Celem ustalenia optymalnej pojemności kondensatora *C* wygodniej jest posługiwać się odpowiednimi nomogramami. Na rys. 23 przedstawiono przykła-



Rys. 23. Nomogram firmy Siemens dla dobierania wartości *R* i *C* w obwodach gaszących

dowo nomogram, zaczerpnięty z katalogu firmy Siemens. W nomogramie tym poszczególne podziałki od lewej ku prawej, oznaczają: 1) indukcyjność L sterowanego obwodu, 2) rezystancję R_0 obwodu przy zamkniętym zestyku x, 3) podziałka pomocnicza, 4) pojemność kondensatora C, 5) stosunek maksymalnego dopuszczalnego napięcia U_g występującego podczas ładowania kondensatora C, do napięcia zasilania U_z (kilka podziałek).

Niech będzie obwód prądu stałego o napięciu zasilania $U_z = 110$ V, indukcyjności $L = 3,5$ H i rezystancji $R_0 = 420\ \Omega$. Należy znaleźć odpowiednią pojemność kondensatora C przy założeniu, że $R_g = R_0$ oraz że podczas ładowania kondensatora napięcie może wzrosnąć do 220 V, a więc, że $\frac{U_{g\,max}}{U_z} = 2$. Punkt na pierwszej podziałce odpowiadający indukcyjności 3,5 H łączy się linią prostą z punktem na drugiej podziałce, odpowiadającym rezystancji 420 Ω, przedłużając tę linię aż do przecięcia z podziałką pomocniczą (na wysokości podziałki 4,15). Ten ostatni punkt łączący się linią prostą z odpowiednim punktem skrajnej, prawej podziałki.

Wybór jednej z dziesięciu podziałek uzależniony jest od wartości ilorazu $\frac{U_{g\,max}}{U_z}$. W opisywanym przykładzie iloraz ten wynosi 2 i dlatego należy przyjąć podziałkę drugą. Stosunek $R_g{:}R_0 = 1$ wyznacza punkt podziałki. Na podziałce pojemności można odczytać szukaną wartość kondensatora $C \approx 4$ μF.

W prototypie zwłaszcza, gdy obciążenie zestyku w chwili otwierania obwodu jest bliskie znamionowemu, zaleca się aby przebieg otwierania obwodu sprawdzić za pomocą oscyloskopu. Sprawdzenie takie jest niezbędne w przypadku, gdy obliczanie elementów obwodu gaszącego oparte było na danych, dotyczących przekaźników innej produkcji, niż zastosowanie w układzie.

W przypadkach, gdy obwód gaszący wymaga stosowania kondensatora o dużej pojemności, można stosować inny sposób gaszenia łuku (rys. 21c).

Prostownik D należy połączyć równolegle z uzwojeniem W w taki sposób, by nie przepuszczał on prądu przy zamkniętym obwodzie zasilania uzwojenia W. Z chwilą przerwania tego obwodu przez otwarcie zestyku x sem. uzwojenia W podtrzymuje przepływ prądu w obwodzie, zamkniętym obecnie przez prostownik D. Napięcie między otwierającymi się stykami x będzie większe od napięcia zasilania U_z o, niewielki zresztą, spadek napięcia na prostowniku D. Nie można jednak uzyskać efektu osiągalnego w poprzednim rozwiązaniu: zmniejszenia napięcia U_g poniżej U_z. Wada ta nie ma na ogół większego znaczenia praktycznego. Drugą wadą układu gaszącego z prostownikiem jest powolniejsze rozładowywanie energii pola magnetycznego niż przy stosowaniu obwodu RC, a tym samym nieco dłuższy czas opadania zwory, liczony od chwili otwarcia obwodu zasilania przepływu prądu przez uzwojenie W. Przy doborze prostownika można uwzględniać wyłącznie dopuszczalne chwilowe obciążenie prądowe i dopuszczalne napięcie zwrotne. Dopuszczalne chwilowe obciążenie prądowe prostownika powinno być równe lub większe od prądu i_0, a napięcie zwrotne większe od maksymalnego chwilowego napięcia, występującego w układzie zasilania uzwojenia W. Jeśli źródłem prądu stałego jest prostownik bez obwodów filtrujących, to napięcie zwrotne prostownika gasikowego powinno być większe od 1,6 U_z w przypadku prostowania dwupołówkowego, a większe od 3,2 U_z w przypadku prostowania jednopołówkowego. Zaletą układów z prostownikami jest prostota techniczna: łatwe dobranie prostownika i małe wymiary, zwłaszcza przy stosowaniu diod germanowych, czy krzemowych.

Należy jednak pamiętać, że diody germanowe i krzemowe są bardzo wrażliwe na przekroczenie dopuszczalnej wartości napięcia zwrotnego i ulegają uszkodzeniu w przypadku pojawienia się nawet bardzo krótkotrwałych większych

napięć. Napięcia takie pojawiają się w sieci prądu przemiennego w postaci tak zwanych „pików", czyli szpilek napięciowych o czasie trwania mierzonym w mikrosekundach. Transformator zasilający prostownik łagodzi w znacznym stopniu owe szpilki napięciowe, jednakże na wyjściu prostownika zaleca się stosowanie kondensatorów filtrujących C o pojemności kilku mikrofaradów, a w przypadku diod bardzo małej mocy równolegle do kondensatora C przyłączenie bezindukcyjnego kondensatora C' o małej pojemności (paruset pikofaradów). Kondensator C', przeznaczony jest do filtrowania bardzo krótkich impulsów napięciowych, które mogą nie zostać przefiltrowane przez duży kondensator ze względu na jego indukcyjność.

1.3. Materiały stosowane do wykonywania styków

Na styki przekaźników i innych łączników, przeznaczonych do wykonywania czynności łączeniowych w obwodach pomocniczych (obwodach sterowania) najczęściej stosuje się srebro. Główną wadą srebra jest jego wrażliwość na związki siarki, w obecności których powleka się ono nie przewodzącą warstwą siarczku srebra. W atmosferze wolnej od związków siarki styki srebrne mogą także powlekać się cienką warstwą tlenków, znacznie gorzej przewodzących od czystego srebra. Tlenki te jednak ulegają redukcji pod wpływem ciepła, która wytwarza się podczas przewodzenia zestyku. Takie cienkie warstwy tlenków srebra mogą jednak poważnie zakłócać przewodzenie zestyku w przypadku, gdy jest on stosowany w obwodzie o niskim napięciu (poniżej 20—30 V).

W obwodach o niskim napięciu zaleca się stosowanie styków złotych, albo grubo pozłacanych. Jednakże styki złote nie nadają się do większych obciążeń prądowych oraz do obwodów zasilanych napięciem wyższym niż 20-25 V, ponieważ w takich warunkach mają one tendencję do zgrzewania się („sklejania się"). Tej ostatniej wady prawie zupełnie nie wykazują styki srebrne.

Materiałem odpornym na wpływy atmosferyczne, a jednocześnie na zgrzewanie się, jest stop srebra i palladu. Stop ten ma jednak rezystancję właściwą około dwadzieścia razy większą niż czyste srebro, nie może być więc używany w obwodach o małym napięciu zasilania i znaczniejszym poborze mocy.

Na styki przeznaczone do obwodów o stosunkowo dużej mocy stosuje się wolfram, metal twardy i odporny na działanie łuku elektrycznego. Ze względu jednak na skłonność do tworzenia się tlenków na powierzchni styków wolframowych, metal ten nie nadaje się do stosowania w klimacie tropikalnym.

Platyna, mimo powszechnego mniemania o jej dużych zaletach jako materiału na styki przekaźników, nie jest odpowiednim materiałem na styki łączników pomocniczych, pracujących w układach automatyki maszynowej. Przy napięciach poniżej 50 V platyna nie powinna być stosowana ze względu na znaczną oporność właściwą, przy napięciach zaś powyżej 80 V platyna wykazuje dużą skłonność do wypalania się i tworzenia kraterów na powierzchni styków.

Praktycznie parametry styków zależą w dużym stopniu od zawartości domieszek w stopie, z którego styki są wykonane i od technologii produkcji.

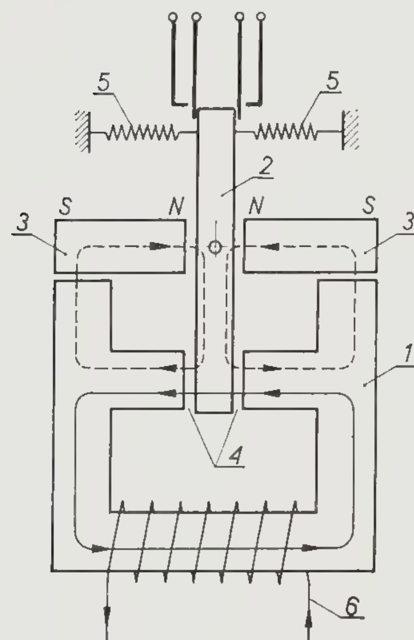
1.4. Przekaźniki spolaryzowane

Podstawową cechą przekaźników spolaryzowanych jest to, że działanie ich jest uzależnione od kierunku przepływu prądu przez cewkę.

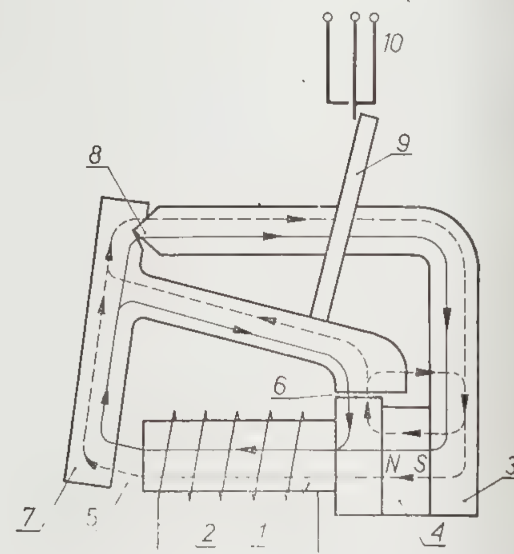
Na rysunku 24 przedstawiono schematycznie zasadę budowy przekaźnika spolaryzowanego. W przekaźniku tym oprócz rdzenia *1* i zwory *2* znajdują się magnesy trwałe *3*, których strumienie magnetyczne przechodzą przez rdzeń,

zworę i szczeliny powietrzne *4* rozmieszczone symetrycznie względem zwory. Przebieg tych strumieni został pokazany na rysunku linią przerywaną. Dzięki symetrii strumieni magnetycznych środkowe położenie zwory jest jej położeniem równowagi, dodatkowo stabilizowanym przez działanie sprężyn *5*.

Jeśli przez cewkę *6* przepływa prąd w kierunku, zaznaczonym strzałką, to wzbudzi on w dolnej części rdzenia strumień magnetyczny, zaznaczony linią ciągłą. Z lewej strony u dołu zwory strumień ten sumuje się ze strumieniem magnesów trwałych, z prawej zaś odejmuje się od niego. W rezultacie zwora wychyla się w kierunku obrotu wskazówek zegara, a spowodowana tym ruchem asymetria szczelin powietrznych zwiększa dodatkowo asymetrię strumienia wypadkowego. Górna część zwory przestawia prawy styk ruchowy, zamykający prawy zestyk. Po przerwaniu obwodu wzbudzenia zwora i zestyk powracają do położenia spoczynkowego. Przepuszczając przez cewkę przekaźnika prąd wzbudzenia w przeciwnym kierunku spowoduje się wychylenie zwory w kierunku przeciwnym i zamknięcie lewego zestyku zwiernego. Opisany przekaźnik jest więc łącznikiem trójpołożeniowym. Przekaźniki takie wyposaża się zwykle w dwie cewki; wtedy każda z nich jest przeznaczona do wzbudzenia przekaźnika w jednym zwrocie. Taki przekaźnik można traktować jako układ dwustanowy o dwóch wejściach i dwóch wyjściach.



Rys. 24. Schemat konstrukcji przekaźnika spolaryzowanego



Rys. 25. Schematyczny rysunek stabilizowanego przekaźnika dwupołożeniowego

Przekaźniki spolaryzowane, w których działanie wzbudzenia ma charakter różnicowy, odznaczają się bardzo dużą czułością. Moc, pobierana przez obwód wzbudzenia przekaźnika spolaryzowanego, wynosi od kilkudziesięciu mikrowatów do około jednego miliwata.

Przekaźniki spolaryzowane wykonywane są także w odmianie stabilizowanej, po przestawieniu w jedno położenie przekaźnik taki pozostaje w tym położeniu, dopóki obwód wzbudzenia nie otrzyma impulsu prądowego, powodującego powrót zwory od położenia środkowego.

Inną odmianą przekaźników spolaryzowanych, są stabilizowane przekaźniki dwupołożeniowe: gdy zwora znajduje się w jednym z położeń roboczych, to zasilanie cewki w zależności od kierunku przepływu przez nią prądu albo nic nie zmienia w stanie przekaźnika, albo przestawia go w drugie położenie robocze.

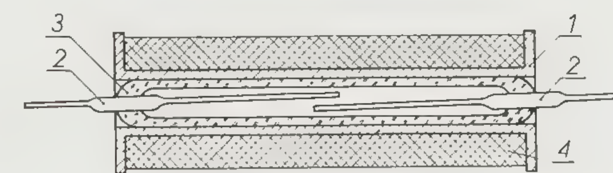
Na rys. 25 przedstawiono schematycznie tego rodzaju przekaźnik. Między rdzeniem *1*, na którym znajduje się cewka *2*, a jarzmem *3* jest umieszczony magnes trwały *4*. Pole magnetyczne tego magnesu rozdziela się na trzy strumienie, zaznaczone liniami przerywanymi. Jeśli przez uzwojenie *2* przepływa prąd w takim kierunku, że wzbudza strumień magnetyczny, zaznaczony linią ciągłą, to pole magnetyczne w szczelinie *5* zostanie wzmocnione, w szczelinie zaś *6* osłabione. Zwora *7* obróci się wokół punktu obrotu *8*, a połączona z nią dźwignia *9* spowoduje przestawienie zestyków *10*. Po przerwaniu obwodu wzbudzenia zwora *7* pozostanie w nowym położeniu, ponieważ teraz szczelina *6* jest duża, a szczelina *5* zmalała prawie do zera. Zmiana kierunku przepływu prądu wzbudzenia spowoduje wzrost natężenia pola magnetycznego w szczelinie *6* i osłabienie pola w szczelinie *5*, na skutek czego zwora wróci do położenia pokazanego na szkicu.

Parametry techniczne przekaźników spolaryzowanych tej odmiany są analogiczne do parametrów zwykłych przekaźników małogabarytowych, tzn. są one mniej czułe i mniej wrażliwe na warunki pracy (wstrząsy, zapylenie itp.) od przekaźników spolaryzowanych (rys. 24).

1.5. Przekaźniki rurkowe (kontaktrony)

Wśród elektromagnetycznych przekaźników małogabarytowych specjalną grupę stanowią przekaźniki rurkowe, znane u nas pod nazwą kontaktrony. Są to przekaźniki bezzworowe, w których strumień magnetyczny bezpośrednio przestawia ruchome styki, aż do zamknięcia zestyku.

Na rys. 26 przedstawiono przekrój przez kontaktron. Wewnątrz korpusu *1* znajduje się zestyk magnetyczny, złożony z dwóch sprężystych styków *2*, zatopionych hermetycznie w rurce szklanej *3*, wypełnionej obojętnym gazem pod ciśnieniem 1 do $2 \cdot 10^5$ N/m^2 (1 do 2 ata).



Rys. 26. Przekaźnik rurkowy (kontaktron) z hermetycznym zestykiem magnetycznym

Styki ruchome są wykonane z materiału o małej pozostałości magnetycznej (magnetycznie miękkiego). Pod wpływem pola magnetycznego o liniach sił przebiegających wzdłuż rurki *3*, styki *2* przyciągają się wzajemnie, aż do zetknięcia. Gdy pole magnetyczne zaniknie, zestyk otwiera się pod wpływem sprężystości styków. W przekaźniku rurkowym pole magnetyczne jest wzbudzane przez prąd płynący w uzwojeniu *4*.

Zaletami kontaktronu są: 1) prawie całkowita niewrażliwość na wpływy otaczającej atmosfery; 2) bardzo krótkie czasy przestawiania: czas zamykania poniżej 2 milisekund (w wykonaniu specjalnym około 1 ms); czas otwierania poniżej 0,5 ms, a nawet poniżej 0,3 ms w wykonaniu specjalnym; 3) duża trwałość manewrowa, przekraczająca $5 \cdot 10^7$ łączeń; 4) bardzo duża dopuszczalna częstość łączeń (parę set na sekundę).

Kontaktrony są produkowane również w odmianach o większej liczbie zestyków (do sześciu), umieszczanych wewnątrz tej samej cewki.

Wadą kontaktronów jest to, że nie posiadają one zestyków rozwiernych.

Kontaktrony polskiej produkcji mają zestyki przystosowane do czynności łączeniowych w obwodach mocy do 10 W, przy napięciu do 110 V prądu stałego i do 220 V prądu przemiennego.

Zestyki magnetyczne mogą być również zamykane i otwierane przez zbliżenie i oddalenie od nich magnesu trwałego. Pozwala to na wykorzystanie kontaktronów jako hermetycznych, niewrażliwych na wpływy otoczenia, łączników drogowych, których jedyną wadą jest niezbyt wysoka dokładność punktu przestawiania (zwykle parę milimetrów).

1.6. Styczniko-przekaźniki

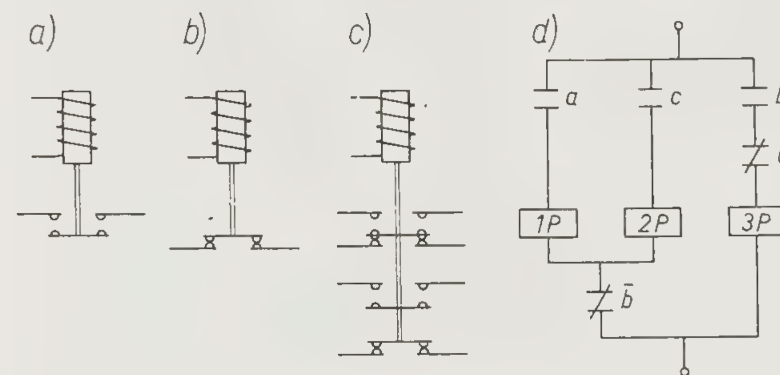
Stosowanie w układach automatyki maszynowej przekaźników małogabarytowych zmusza do bardzo starannego sprawdzenia obciążeń zestyków przekaźnika, występujących podczas jego pracy w układzie sterowania. Prócz tego projektant układu, decydujący się na stosowanie przekaźników małogabarytowych, napotyka na dodatkowe utrudnienie przy opracowywaniu dokumentacji w postaci analizy rozmieszczenia i możliwości przegrupowania zestyków w obwodach układu oraz konieczności zaprojektowania obwodów gaszących.

Nie bez znaczenia jest również fakt bardzo dużej wrażliwości przekaźników małogabarytowych (z wyjątkiem kontaktronów) na zapylenie. Zestyk przekaźnika może nie zamykać obwodu, jeśli między styki dostanie się ledwo widoczna gołym okiem odrobina kurzu. Dlatego też przekaźniki te są z reguły osłonięte przez wytwórnię kapturkiem, wykonanym zwykle z plexiglasu, a niezależnie od tego powinny być montowane w szafach dobrze zabezpieczonych przed przenikaniem kurzu od ich wnętrza.

Jeżeli nie zależy na zredukowaniu do minimum przestrzeni, zajmowanej przez układ sterowania, ani na zmniejszeniu mocy pobieranej przez układ, to jako elementy sterujące stosuje się zwykle styczniko-przekaźniki. Są to łączniki elektromagnetyczne o konstrukcji typowo stycznikowej, różniące się od normalnych styczników brakiem podziału zestyków na główne i pomocnicze. Wszystkie zestyki mają tę samą wartość znamionowego prądu ciągłego (nie mniejszą od 6 — 8 A) oraz budowę mostkową, której cechą jest zamykanie i otwieranie toru prądowego przez styk ruchomy, łączący elektrycznie ze sobą dwa styki nieruchome (dwuprzerwowe otwieranie zestyku). Na rysunku 27a pokazano zestyk zwierny, a na rysunku 27b zestyk rozwierny typu mostkowego. Niektóre typy styczniko-przekaźników wyposażone są w pary zestyków (zwierny-rozwierny), zamykane i otwierane przez ten sam styk ruchomy. Tego rodzaju parę zestyków przedstawiono na rys. 27c w górnej części zestawu zestyków. Konstrukcja taka odpowiada w pewnym sensie zestykom przełączającym przekaźników małogabarytowych, ma nad nimi jednak tę przewagę, że w układzie sterowania zestyki przełączające typu mostkowego nie muszą mieć jednego wspólnego połączenia elektrycznego. W porównaniu z niezależnymi zestykami zwierno-rozwiernymi (dwa dolne zestyki na rys. 27c), przełączające zestyki mostkowe ze wspólnym stykiem ruchomym wykazują mniejszą dowolność umieszczania ich w obwodach sterowania. Wspólny styk ruchomy nie pozwala bowiem na stosowanie pary zestyków przełączających w dwóch obwodach, zasilanych z różnych źródeł napięcia, a w przypadku obwodów zasilanych z tego samego źródła, na umieszczanie jednego zestyku w obwodzie jednego z dwóch przewodów zasilających obwody sterowania, drugiego zaś w obwodzie drugiego przewodu zasilającego. Tak więc na rysunku 27 d zestyki a i $\bar{a}$ mogą mieć wspólny styk ruchomy, zestyki natomiast b i $\bar{b}$ nie mogą, ponieważ groziłoby to powstaniem zwarć łukowych w obwodzie podczas przestawiania zestyków b.

Stycznikowa konstrukcja omawianych przekaźników, stosowanie zestyków mostkowych i znaczna ich obciążalność w porównaniu z obciążalnością zestyków przekaźników małogabarytowych wpływa na polepszenie parametrów styczniko-przekaźników w stosunku do analogicznych parametrów przekaźników właściwych.

Np. dopuszczalna moc obciążenia zestyków (obciążenie bezindukcyjne) w styczniko-przekaźnikach przekracza zwykle 1 kW, moc pobierana przez uzwojenie wzbudzenia wynosi około 10 W. Wymiary zewnętrzne są przeciętnie dwa razy większe, niż przekaźników małogabarytowych, ciężar zaś styczniko-przekaźnika przekracza zwykle 0,5 kG.



Rys. 27. Dwuprzerwowe zestyki w styczniko-przekaźnikach: a), b), c) różne rodzaje zestyków; d) przykład obwodu, w którym zestyki b i $\bar{b}$ nie mogą mieć wspólnego styku ruchomego

Styczniko-przekaźniki są najczęściej wyposażone w osiem zestyków, z których część zazwyczaj cztery — sześć zestyków, są zestykami rozwiernymi. Jedynie bardzo nieliczne firmy, jak Siemens i Télémécanique produkują styczniko-przekaźniki, w których wszystkie zestyki mogą być typu rozwiernego.

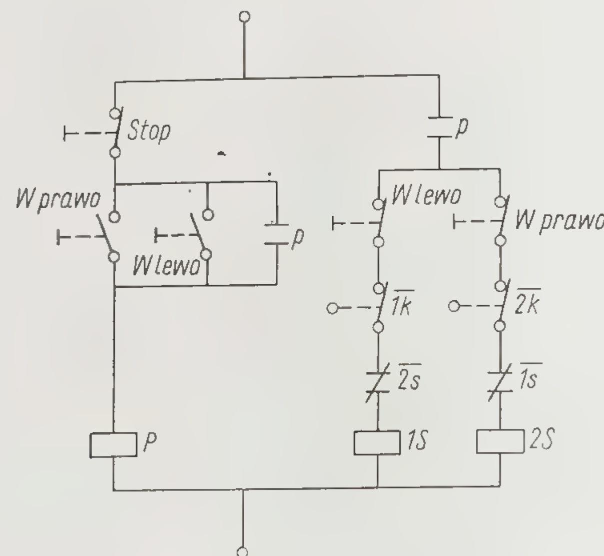
Na specjalną uwagę zasługuje konstrukcja styczniko-przekaźnika typu CA2-A firmy Télémécanique. Dysponując trzema elementami podstawowymi tego przekaźnika i czterema dodatkowymi, użytkownik może we własnym zakresie montować z nich różne odmiany styczników i styczniko-przekaźników łącznie z wyposażeniem ich w zestyki ze zwłoką albo przy otwieraniu, albo przy zamykaniu zwory. W styczniko-przekaźnikach CA2-A można również dowolnie zmieniać charakter zestyków: ze zwiernych na rozwierne i odwrotnie. Ogólna liczba możliwych do uzyskania różnych kombinacji tych aparatów przekracza 100.

W obwodach prądu stałego, sterowanych zestykami styczniko-przekaźników, nie ma konieczności stosowania obwodów gaszących, niemniej stosowanie takich obwodów wybitnie zwiększa trwałość manewrową aparatu.

2. Styczniki

Przy eksploatacji styczników ważnym zagadnieniem jest zabezpieczenie przed możliwością powstawania zwarć łukowych w obwodach mocy. Zwarciem łukowym nazywa się zwarcie przez palący się między stykami łuk elektryczny. Zwarcie takie może powstać, gdy w obwodzie mocy (rys. 7b) zmienia się kierunek obrotów silnika M przy czym zestyki załączające nowy kierunek obrotów (np. zestyki $2S$) zamkną się, zanim zgaśnie łuk między stykami otwartych przed chwi-

lą zestyków *1S*. Na rys. 28 przedstawiono schemat obwodu sterowania, w którym może występować zwarcie łukowe. Przypuśćmy, że zestyki *1s* i *2s* są tymi, które na schemacie przedstawionym na rys. 7b otwierają i zamykają obwód zasilania *M*, w wyniku czego posuw stołu lub suportu obrabiarki, napędzanego przez silnik *M* odbywa się w kierunku prawym, gdy jest zamknięty stycznik *1S*, w lewym zaś, gdy zamknięty jest stycznik *2S*. Po uruchomieniu napędu w prawo i zwolnieniu przycisku stół (lub suport) dochodzi do zderzaka, powodującego przestawienie łącznika drogowego *1K* w położenie wymuszone. Otwiera się zestyk $\overline{1k}$, obwód wzbudzenia stycznika *1S* zostaje przerwany i otwarcie zestyków *1s* w obwodzie silnika powoduje wyłączenie napędu w prawo. Jednocześnie zamknięcie zestyku $\overline{1s}$



Rys. 28. Przykład obwodu sterowania silnikiem nawrotnym (rys. 7b) Układ umożliwia powstawanie zwarć łukowych

w obwodzie wzbudzenia stycznika *2S* powoduje zamknięcie tego obwodu, załączenie stycznika *2S* i zamknięcie jego zestyków *2s* w obwodzie silnika *M*. W otwieranych zestykach *1s* w obwodzie mocy powstaje łuk elektryczny, który pali się około 10 milisekund. Jeżeli w tym czasie zdążą się zamknąć zestyki *2s*, to powstanie zwarcie łukowe między przewodami *S* i *T* (rys. 7b). W nowoczesnych stycznikach czasy otwierania i zamykania są tak krótkie, że w opisanej sytuacji zwarcie łukowe może powstać. Zwarcia takie powstają sporadycznie wtedy, gdy szereg przypadkowych czynników (moment otwarcia zestyków, wartość napięcia sieci zasilającej w chwili przestawienia styczników itp.) spowoduje nieco dłuższe niż zwykle palenie się łuku lub szybsze zamknięcie zestyków stycznika. Ze względu na dużą przypadkowość, zwarcie łukowe może nie wystąpić w okresie prób obrabiarki prowadzonych przez producenta, co prowadzi do błędnego wniosku, iż układ został opracowany poprawnie. Może się również zdarzyć, że większość styczników zastosowanych w układzie wykazuje wystarczająco długi czas załączania, lub wystarczająco szybkie gaszenie łuku, a wtedy wypadki zwarć łukowych będą się zdarzały tylko w niektórych egzemplarzach szaf sterowniczych mimo, że wszystkie szafy zmontowane były według tego samego schematu. Często wyciąga się z tego zupełnie błędny wniosek, że winę za zwarcia łukowe ponoszą niektóre egzemplarze styczników, a więc, że jakość styczników nie jest wystarczająco dobra.

Istnieją styczniki (np. typ K915 Siemensa), których producent zapewnia, że nie powodują one zwarć łukowych, nawet jeśli zostaną zastosowane w obwodzie o schemacie według rys. 28. Jednakże szereg czołowych firm światowych takiej

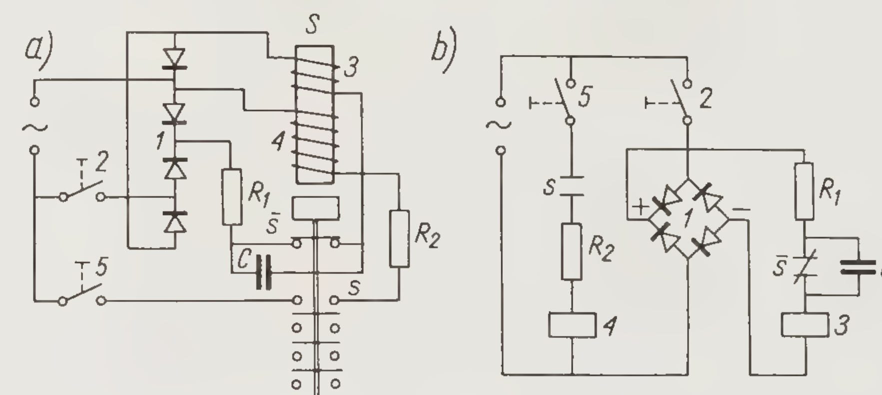
gwarancji nie daje, co bynajmniej nie dyskwalifikuje styczników tych firm, zmusza jedynie projektanta do stosowania dodatkowych zabezpieczeń, które omówione zostaną w rozdz. IX p. 3.5.

Zwarcia łukowe mogą występować także np. w układach automatycznego rozruchu trójkąt-gwiazda zwartych silników trójfazowych, jak również przy zmianie prędkości obrotowej trójfazowych silników wielobiegowych.

Wśród użytkowników, a nawet producentów obrabiarek panuje mniemanie, że co pewien okres czasu należy wygładzić (np. drobnym pilnikiem) powierzchnię styków opalonych pod działaniem łuku elektrycznego. Pogląd ten jest całkowicie błędny. Przede wszystkim dlatego, że nierówności na stykach tworzą się nie w tych miejscach, które przewodzą prąd przy zamkniętym styczniku, lecz w tych miejscach, w których następuje otwarcie zestyków (tak zwane styki opalne). Aby zapewnić dobre przyleganie i docisk wszystkich styków stycznika są one osadzone sprężyście tak, że przy ruchu zwory w kierunku zamykania, po zetknięciu się styków ruchomych z nieruchomymi, zwora stycznika przebywa jeszcze pewną drogę *x*, zanim dojdzie do rdzenia. W miarę zużywania się styków zamknięcie zestyków stycznika następuje w położeniu zwory coraz bliższym położenia krańcowego. Styki uważa się jako zużyte wtedy, gdy ich przechył (tzn. sprężyste odchylenie styków w zamkniętym stanie zestyku) zmaleje do połowy pierwotnej wartości, odpowiadającej nowemu kompletowi styków. Wyrównywanie opalonych powierzchni styków jest szkodliwe, przyśpiesza bowiem moment, w którym na podstawie podanego wyżej kryterium zużycia styki trzeba wymienić.

3. Styczniki remanencyjne

Rdzenie **styczników remanencyjnych** wykonane są z materiałów ferromagnetycznych o znacznej remanencji, na skutek której po zamknięciu zwory jest ona przytrzymywana w położeniu wymuszonym przez magnetyzm szczątkowy rdzenia. Aby stycznik otworzyć, rdzeń trzeba rozmagnesować, zasilając przez chwilę odpowiednie uzwojenie prądem zmiennym do momentu opadnięcia zwory.



Rys. 29. Stycznik remanencyjny firmy Siemens: a) schemat montażowy, b) schemat ideowy

Na rysunku 29a, b przedstawiono schemat montażowy i ideowy stycznika remanencyjnego firmy Siemens. Uzwojenie wzbudzenia stycznika remanencyjnego musi być zasilane prądem stałym. Aby stycznik remanencyjny można było stosować w układach sterowania zasilanych prądem zmiennym jest on wyposa-

żony w prostownik *1*, stanowiący składową część stycznika. Naciśnięcie przycisku *2* powoduje zamknięcie obwodu wzbudzenia złożonego z prostownika *1* i cewki *3*. Po przyciągnięciu zwory stycznika pozostaje ona w tym położeniu mimo przerwania obwodu wzbudzenia, nie ma więc potrzeby ciągłego zasilania obwodu wzbudzenia. Dlatego w obwód wzbudzenia został włączony rozwierny zestyk $\bar{s}$ stycznika. W opisanym układzie zasilania impuls wzbudzający mógłby być za słaby do uzyskania niezbędnej indukcji magnetycznej. Dlatego równolegle do zestyku $\bar{s}$ przyłączony jest kondensator *C*, wchodzący również w skład stycznika i służący do magazynowania energii elektrycznej w czasie impulsu wzbudzającego.

Aby otworzyć zworę stycznika remanencyjnego należy zasilić prądem zmiennym jego cewkę demagnetyzującą *4*. W tym celu zastosowano przycisk *5*, połączony szeregowo z pomocniczym zestykiem zwiernym *s* stycznika. Z chwilą otwarcia zwory stycznika otwiera się również zestyk *s*, przerywając zasilanie cewki demagnetyzującej. W rzeczywistych układach sterowania zamiast przycisków *2* i *5* mogą występować zestyki innych organów obsługi, sterowania, lub elementów obwodów pośredniczących.

Styczniki remanencyjne mogą być wykorzystane w układach sterowania obrabiarek typu produkcyjnego, dla których według wymagań normy branżowej należy stosować obwody pamięciowe z pamięcią nie zanikającą w razie przypadkowego zaniku napięcia w sieci zasilającej. Wadą styczników remanencyjnych jest to, że otwarcie zestyków głównych następuje na skutek zamknięcia obwodu wzbudzenia (obwodu cewki demagnetyzującej), nie zaś przerwania takiego obwodu.

4. Czujniki położenia

Czujniki położenia są organami sterowania, znajdującymi najbardziej powszechne zastosowanie w układach sterowania obrabiarek. Dzielą się one na dwie podstawowe grupy: czujniki położenia zestykowe, zwane łącznikami drogowymi, albo krańcowymi i czujniki bezstykowe. Czujniki zestykowe dzielą się jeszcze na łączniki o napędzie mechanicznym (zderzakowe) i bez napędu mechanicznego (drogowe łączniki bezzderzakowe). Czujniki bezstykowe należą prawie wyłącznie do grupy łączników bezzderzakowych.

Najczęściej stosowane są łączniki drogowe z napedęm mechanicznym, dzielące się z kolei na łączniki drogowe o nie migowym przestawianiu styków i łączniki ze stykami przestawianymi migowo. Wśród łączników drogowych o działaniu migowym należy wyodrębnić podgrupę mikrołączników.

Zestykowe łączniki drogowe bezzderzakowe są dotychczas reprezentowane wyłącznie przez kontaktrony.

W grupie bezstykowych i bezzderzakowych czujników położenia spotyka się różne rozwiązania, z których w układach sterowania obrabiarek znalazły zastosowanie czujniki z elektrycznym obwodem drgającym (omówione bliżej w rozdziale dwunastym) oraz czujniki z generatorem Halla.

Do istotnych parametrów eksploatacyjnych czujników położenia zalicza się dokładność i powtarzalność czujnika, sposób przestawiania w funkcji drogi, czułość, trwałość mechaniczną i manewrową, odporność na wpływy otoczenia (kurz, woda, olej, wióry metalowe, temperatura itp.) i wstrząsy, łatwość wymiany oraz konserwacji.

Projektanci układów sterowania często stawiają zbyt wygórowane żądania dotyczące dokładności łączników drogowych. Np. w przypadkach, gdy łącznik

ma spowodować przełączenie z szybkiego posuwu obrabiarki na posuw roboczy, całkowicie wystarcza dokładność punktu przestawienia łącznika około 3 mm. Nieco większej dokładności ze względu na skrócenie czasu obróbki wymaga się zwykle przy przejściu z posuwu roboczego na przesuw szybki, jednak i w tym przypadku błąd 1 mm nie odgrywa poważniejszej roli. Dokładność większa niż 1 mm potrzebna jest wtedy, gdy łącznik drogowy zastosowano do sterowania „na wymiar" (np. przy sterowaniu programowym zderzakowym). Szczególnie jeśli posuw zatrzymywany jest wyłącznie za pośrednictwem łącznika (bez twardego zderzaka), łącznik powinien wykazywać dokładność 0,01—0,02 mm. W takim przypadku trzeba jednak przed osiągnięciem wyznaczonego punktu zmniejszyć automatycznie prędkość posuwu do najwyżej 50 mm/min. Przypadki takiego właśnie wykorzystania łącznika drogowego są rzadkie.

Wiele wymagań stawianych czujnikom położenia w zakresie odporności na wpływy otoczenia można złagodzić chroniąc je przed szkodliwymi wpływami otoczenia. Właściwe rozmieszczenie i zabezpieczenie elementów sterowania jest jednym z podstawowych obowiązków, narzuconych przez normy konstruktorowi obrabiarki projektantowi układu sterowania.

Zderzakiem nazywa się element, przesuwający się względem łącznika drogowego z napędem mechanicznym, mający na celu przestawianie go w odpowiednim punkcie drogi w położenie wymuszone. Kształt i wymiary zderzaka zależą od konstrukcji tej części napędu łącznika, która przyjmuje nacisk zderzaka oraz od zorientowania łącznika względem drogi zderzaka. Producenci łączników drogowych podają zwykle w prospektach i katalogach szkice sytuacyjne zespołu: łącznik-zderzak, określające wartości kąta natarcia zderzaka w zależności od kierunku ruchu i od rodzaju elementu przyjmującego w łączniku nacisk zderzaka.

Łączniki, w których napęd przenoszony jest za pośrednictwem popychacza z zakończeniem kulistym (rys. 30a), przeznaczone są do przestawiania przez zderzak, atakujący łącznik od czoła (zderzak *1*). Niektórzy producenci dopuszczają jednak dla takich łączników stosowanie zderzaków bocznych (zderzaki *2*), wtedy jednak kąt natarcia α nie powinien przekraczać 15 do 30°.

Stosowanie niewłaściwej konstrukcji zderzaka czołowego (*1*) z rys. 30a grozi uszkodzeniem łącznika drogowego, ponieważ zwykle droga hamowania napędu, wyłączanego w ten sposób, jest dłuższa od maksymalnej dopuszczalnej drogi popychacza łącznika. Jedyną zaletą takich zderzaków jest to, że zapewniają one uzyskanie maksymalnej dokładności powtarzalnej punktu przestawiania łącznika. Celem uzyskania dużej dokładności, stosuje się zwykle mikrołączniki, a więc aparaty mające bardzo krótką drogę przestawiania (rzędu kilku, wyjątkowo kilkudziesięciu setnych milimetra). Należy wtedy stosować specjalne zderzaki, gwarantujące bezpieczną pracę łącznika.

Konstrukcji zderzaków czołowych stawia się następujące wymagania:

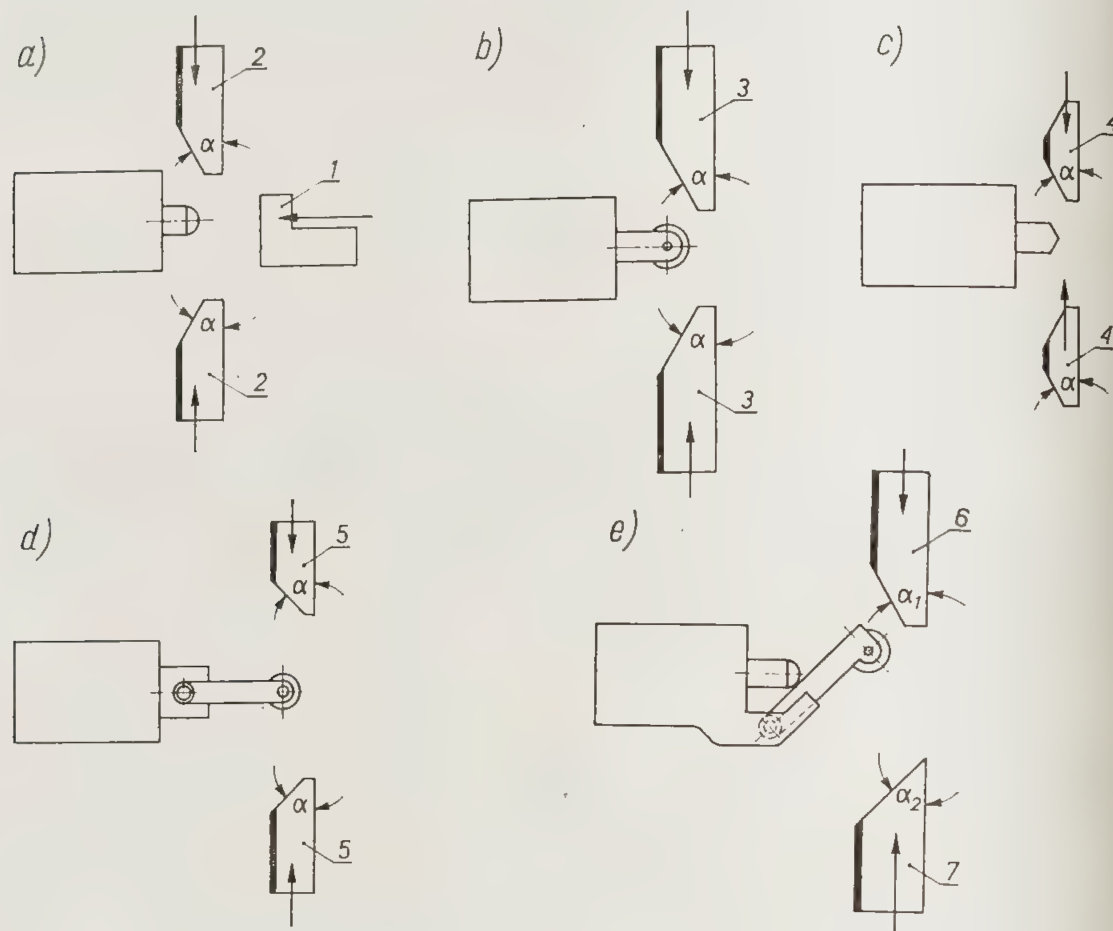
1. Sprężyste osadzenie pozwalające na cofnięcie się zderzaka pod działaniem siły większej, niż potrzebna do przestawienia łącznika.

2. Siła, pokonująca opór sprężyny dociskającej zderzak i powodująca jego cofnięcie się, nie może pochodzić od oporu popychacza mikrołącznika, lecz od dodatkowego twardego zderzaka, który można ustawić z dużą dokładnością. Zderzak sprężysty powinien dochodzić do dodatkowego zderzaka twardego, zanim popychacz mikrołącznika przejdzie całą drogę wybiegu (patrz rys. 34). Zasadniczo nie należy wykorzystywać więcej, niż 2/3 drogi wybiegu.

3. Część przesuwana zderzaka, atakująca bezpośrednio popychacz mikrołącznika, musi mieć odpowiednio długie, dokładne prowadzenie, najmniejsze bowiem boczne wychylenie zderzaka zmniejsza dokładność punktu przestawienia mikrołącznika.

4. Wyłączenie napędu powinno następować po uprzednim zmniejszeniu prędkości posuwu, co zwykle sterowane jest przez inny łącznik drogowy. Umożliwia to zatrzymanie napędu w żądanym punkcie z dużą dokładnością.

5. Przy stosowaniu omawianego sposobu zatrzymywania posuwu celowe jest dodanie łącznika awaryjnego, przestawianego w położenie wymuszone, gdy zderzak sprężysty cofnie się zbyt daleko.



Rys. 30. Dobór kąta natarcia α zderzaka w zależności od rodzaju napędu łącznika drogowego i kierunku zbliżania się zderzaka do łącznika

Łącznik awaryjny stosuje się z reguły jako zabezpieczenie dodatkowe na wypadek, gdyby w wyniku niesprawności układu sterowania sygnał łącznika drogowego przekazujący polecenie zatrzymania posuwu, albo zmiany jego zwrotu nie został przez układ uwzględniony. Norma wyposażenia elektrycznego obrabiarek narzuca stosowanie takiego awaryjnego łącznika w obrabiarkach przeznaczonych do pracy w liniach obróbczych, a wyposażonych w napęd posuwu, którego niewyłączenie we właściwym momencie może spowodować uszkodzenie maszyny, albo narzędzia.

Najczęściej stosuje się łączniki drogowe z popychaczem zakończonym rolką (rys. 30b), atakowanym przez zderzaki boczne *3*.

Większą dokładność punktu przestawiania łącznika zapewniają popychacze zakończone ścięciem daszkowym (rys. 30c), wykonanym zwykle pod kątem 30°. Muszą one jednak współpracować ze zderzakami *4* o kącie natarcia, dokładnie dostosowanym do kąta ścięcia popychacza. Napęd taki może być stosowany tylko do mikrołączników ze względu na małą drogę przestawiania zestyków.

Przy złagodzeniu wymagań dokładności stosuje się łączniki drogowe z dźwignią wychylną, zakończoną rolką (rys. 30d). W przypadku symetrycznego ustawienia dźwigni napędowej maksymalny kąt α obu zderzaków *5* jest jednakowy. Aby uniknąć zbyt gwałtownych uderzeń zderzaka w rolkę łącznika, kąt α nie powinien przekraczać 45÷50°.

Przy stosowaniu łączników z dźwignią o ustawieniu niesymetrycznym (rys. 30e), maksymalny kąt α_1 zderzaka *6* będzie mniejszy od maksymalnego kąta α_2, zderzaka *7*.

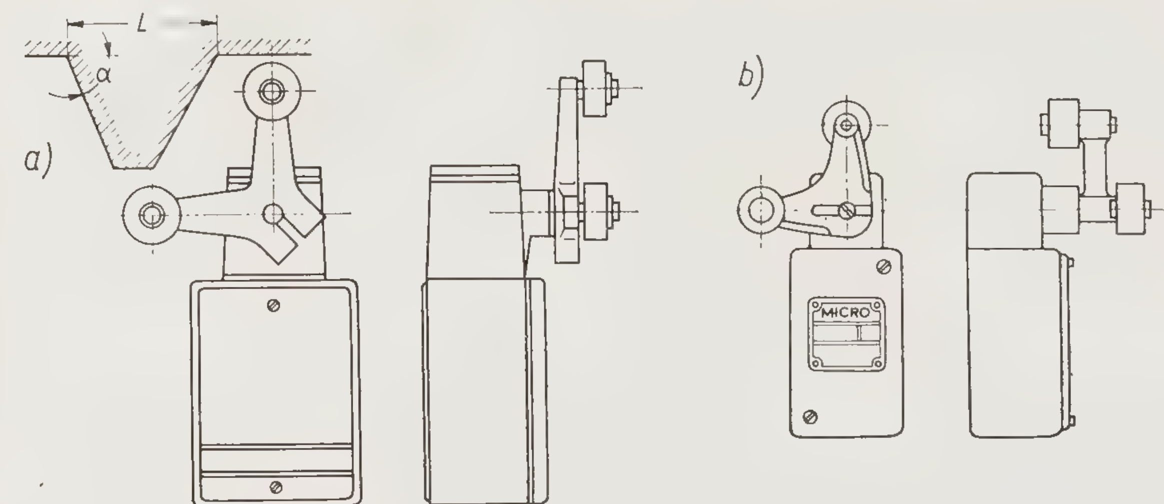
We wszystkich przypadkach stosowania zderzaków bocznych należy pamiętać o odpowiednim ustawieniu względem łącznika tej ich powierzchni, która utrzymuje łącznik w stanie wymuszonym. Tolerancja ustawienia tej powierzchni (zaznaczonej na szkicach rysunku 30 linią grubą) względem łącznika zależy od drogi wybiegu dźwigni napędowej łącznika. Drogą wybiegu nazywa się maksymalną długość odcinka (lub kąta obrotu dźwigni), o jaki można przemieścić rolkę lub popychacz po przestawieniu styków łącznika w położenie wymuszone. Długość drogi wybiegu dla każdego typu łącznika podają katalogi.

W łącznikach z napędem przekazywanym za pośrednictwem dźwigni z rolką spotyka się najczęściej równoległe usytuowanie płaszczyzny obrotu dźwigni do płaszczyzny mocowania łącznika. Kąt zerowego położenia dźwigni odpowiadającego swobodnemu stanowi łącznika, można zazwyczaj dowolnie ustalić przez obrót, a następnie zaciśnięcie piasty dźwigni na osi. W normalnym wykonaniu przestawienie łącznika w położeniu wymuszone następuje przy wychyleniu dźwigni z położenia zerowego zarówno w lewo jak i w prawo.

Oprócz opisanego najbardziej typowego rozwiązania stosuje się szereg innych konstrukcji odmian napędu za pośrednictwem dźwigni. Najważniejsze z tych odmian są: a) płaszczyzna obrotu dźwigni jest ustawiona prostopadle do płaszczyzny mocowania łącznika; b) wychylenie dźwigni w jednym zwrocie powoduje przestawienie łącznika w położenie wymuszone, natomiast wychylenie dźwigni w zwrocie przeciwnym nie powoduje żadnej zmiany w stanie łącznika drogowego.

Ostatnio coraz więcej firm dostarcza łączniki drogowe w obudowie, wyposażone w napęd dźwigniowy takiej konstrukcji, że użytkownik może dowolnie sam ustawiać płaszczyznę obrotu dźwigni, jej położenie zerowe, a wreszcie wybrać jeden z trzech możliwych wariantów napędu: w obu zwrotach obrotu dźwigni, tylko w zwrocie w prawo, albo tylko w zwrocie w lewo.

Łączniki drogowe są również produkowane w odmianie stabilizowanej, wyposażonej w kątową dźwignię z rolkami (rys. 31a). Po przestawieniu łącznika



Rys. 31. Łączniki drogowe stabilizowane z dźwignią kątową: a) napęd w obie strony od tego samego zderzaka; b) napęd od różnych zderzaków

przez zderzak w jedno położenie, przestawienie do położenia poprzedniego odbywa się przy ruchu powrotnym zderzaka. Długość L zderzaka nie może być zbyt duża, w przeciwnym bowiem razie zderzak podczas przestawiania łącznika drogowego nie zmieści się między ramionami dźwigni napędowej. Długość zderzaka zależy od konstrukcji dźwigni łącznika, a przy danym typie łącznika od kąta α. Omawiane parametry podaje każdorazowo producent łączników z dźwignią kątową.

Konstrukcja napędu łącznika drogowego, przedstawiona na rys. 31a, narzuca konieczność stosowania tego samego zderzaka do przestawiania łącznika w pierwsze i drugie położenie, co ogranicza nieco możliwość wykorzystania łącznika. Większą swobodę konstruktorowi obrabiarki i projektantowi układu sterowania dają łączniki stabilizowane z dźwignią kątową przedstawione na rys. 31b. Widać tu, że na jednym z ramion dźwigni rolka znajduje się po przeciwnej stronie niż na drugim ramieniu. Do przestawiania łączników z tak wykonanymi dźwigniami napędowymi trzeba stosować dwa oddzielne zderzaki: po jednym dla każdego zwrotu przestawienia.

Stabilizowane łączniki drogowe z dźwigniami kątowymi zastosowane są prawie wyłącznie do sterowania nawrotem stołu w strugarkach wzdłużnych. Należałoby jednak ten typ łączników drogowych stosować szerzej, przede wszystkim w obrabiarkach przeznaczonych do pracy w produkcji wielkoseryjnej, gdyż norma wymaga stosowania pamięci nie ginącej w przypadku zaniku napięcia zasilającego. Stabilizowane łączniki drogowe można wykorzystać jako tego typu pamięć położenia napędzanych elementów obrabiarki, bez konieczności stosowania do tego celu zderzaków długich. Specjalnie korzystnym byłoby stosowanie łączników stabilizowanych w układach sterowania obrabiarek zespołowych.

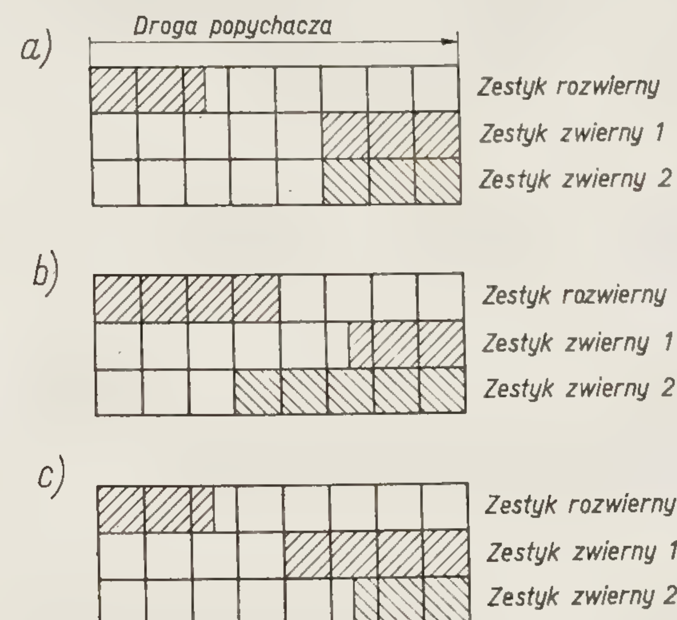
4.1. Drogowe łączniki o działaniu nie migowym

Dotychczas uwagi dotyczyły zarówno łączników o działaniu migowym, jak i nie migowym. Obecnie rozpatrzone będą ważniejsze cechy łączników nie migowych.

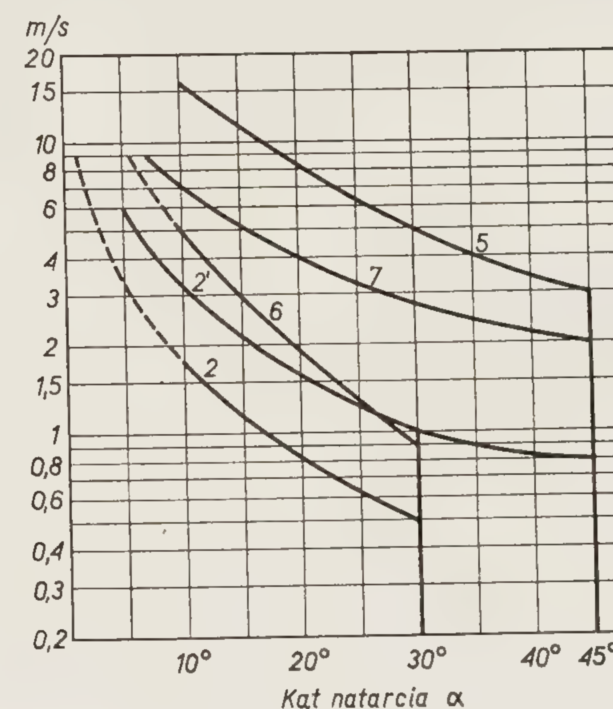
Łączniki drogowe z nie migowym przestawieniem styków odznaczają się prostotą wykonania i związaną z tym stosunkowo niską ceną oraz dużą trwałością mechaniczną. Największą jednak zaletą tych łączników jest możliwość wyposażenia ich w większą liczbę zestyków, których program zamykania i otwierania może być w dodatku różnorodny. Tytułem przykładu na rys. 32 podano diagramy trzech różnych programów przestawiania zestyków łącznika drogowego, wyposażonego w jeden zestyk rozwierny i dwa zwierne.

Na rysunku 33 przedstawiono wykres maksymalnych dopuszczalnych prędkości zderzaka względem łącznika w zależności od kąta natarcia zderzaka i kierunku ruchu względnego, dla łącznika firmy Siemens, typu K244. Poszczególne krzywe oznaczono numerami odpowiadającymi numerom zderzaków z rys. 30. Krzywa *2'* odpowiada zderzakowi *2*, ale przedstawiającemu łącznik o wydłużonym prowadzeniu popychacza. Jak widać z diagramu, maksymalne dopuszczalne prędkości zderzaka względem łącznika są znacznie większe od prędkości posuwów roboczych i szybkich, występujących w obrabiarkach.

Daleko niekorzystniej natomiast przedstawia się zagadnienie minimalnej prędkości, z jaką zderzak powinien atakować łącznik drogowy o działaniu nie migowym. Przy zbyt powolnym otwieraniu zestyków występuje między stykami przez dłuższy czas iskrzenie, czy nawet palenie się łuku, prowadzące nieuchronnie do szybkiego zniszczenia styków. Takiemu powolnemu otwieraniu zestyków towarzyszy w dodatku, trwający przez pewien czas, nieokreślony stan otwieranego obwodu: natężenie prądu w obwodzie nie spada od razu do zera, lecz ma w okresie przejściowym przebieg nieregularny, co z kolei może spowodować podobnie niezdecydowane przechodzenie np. przekaźnika elektromagnetycznego ze stanu wzbudzenia (stanu wymuszonego) do stanu spoczynkowego. Minimalna dopuszczalna prędkość przestawiania łącznika drogowego zależy oczywiście od rodzaju



Rys. 32. Przykłady programów łączeń trójzestykowego łącznika drogowego



Rys. 33. Przykład diagramu dopuszczalnych prędkości zderzaka względem łącznika drogowego

i natężenia prądu w przerywanym obwodzie oraz od charakteru tego ostatniego. W najkorzystniejszych warunkach (obciążenie zestyku łącznika niewielkim prądem, pobieranym np. przez cewkę niedużego stycznika, zastosowanie zderzaka czołowego i warunki pracy nie narażające łącznika na drgania i wstrząsy)

minimalna prędkość zderzaka może zejść najwyżej do wartości około 50 mm/min, gdy zestyk łącznika znajduje się w obwodzie prądu zmiennego i około 1 m/min, gdy otwierany przez ten zestyk obwód jest zasilany prądem stałym. W przypadku stosowania zderzaków bocznych należy te wartości podwyższyć około czterokrotnie.

Podane wyżej wartości minimalnej prędkości zderzaka względem łącznika mają charakter jedynie orientacyjny, a wartości obowiązujące może określić tylko producent łącznika. Ogólnie można powiedzieć, że łączniki drogowe o nie migowym przestawianiu zestyków nie nadają się do wykorzystywania przy prędkościach zderzaka równych prędkościom posuwu większości obrabiarek do obróbki wiórowej.

4.2. Łączniki o migowym przestawianiu zestyków. Mikrołączniki

W grupie tych łączników należy wyodrębnić specjalną odmianę, zwaną — ze względu na małe wymiary zewnętrzne — mikrołącznikami. Dzięki szeregowi dodatkowych zalet mikrołączniki wyparły prawie zupełnie normalnogabarytowe łączniki drogowe o migowym przestawieniu styków, dlatego też poniżej zostaną omówione jedynie mikrołączniki.

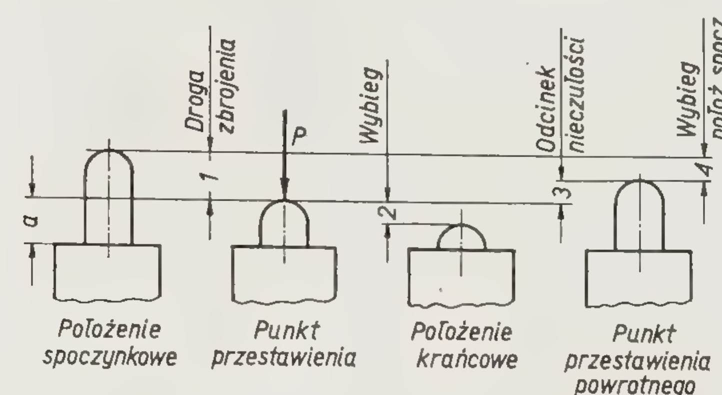
Mikrołączniki drogowe wyróżniają się następującymi zaletami: posiadają małe wymiary gabarytowe przy znacznej obciążalności zestyków, dużą trwałość mechaniczną i łączeniową, wysoki stopień niezawodności pracy, bardzo dużą dokładność (rzędu setnych, a nawet tysięcznych części milimetra), znaczną czułość, a wreszcie bardzo niskie wartości minimalnej dopuszczalnej prędkości zderzaka względem łącznika, dochodzące dla pewnych typów do 1 mm/h.

Ilustracją podanych wyżej zalet mogą być np. mikrołączniki serii podstawowej BZ firmy Honeywell. Łączniki te, wykonane w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 18×22×50 mm, przy zastosowaniu w obwodach prądu zmiennego o napięciu zasilania do 250 V z indukcyjnością ($\cos\varphi = 0{,}5$) mają trwałość manewrową $1{,}5 \cdot 10^6$ przełączeń przy prądzie 5 A. Różnica między położeniem popychacza, powodującym przestawienie styków do położenia wymuszonego, a położeniem, przy którym styki wracają do położenia spoczynkowego, wynosi dla niektórych typów ca 0,01 mm. Różnica ta odpowiada zdefiniowanej w poprzednim rozdziale nieczułości czujnika.

Mikrołączniki sub-sub miniaturowe tej samej firmy mają wymiary 5×9××13 mm i twałość łączeniową przy 230 V prądu zmiennego oraz obciążeniu 7 A — 50 tys. przełączeń, a przy tym samym napięciu, lecz obciążeniu 5 A – 100 tys. przełączeń, wreszcie przy obciążeniu prądem 1 A trwałość łączeniowa przekracza 400 tys. przełączeń.

Dla konstruktorów układu sterowania obrabiarki ważna jest znajomość zależności między położeniem zewnętrznego elementu napędowego (popychacza rolki dźwigni napędowej i tp.), a stanem zestyków mikrołącznika. Zależność tę podają producenci mikrołączników w katalogach. Na rys. 34 przedstawiono schemat takiej zależności oraz nazwy poszczególnych odcinków drogi popychacza. Odcinek *1* jest nazywany drogą zbliżania, albo drogą zbrojenia mikrołącznika. Droga ta kończy się w punkcie, w którym następuje skokowe przestawienie styków ze stanu spoczynkowego do stanu wymuszonego. Po przestawieniu styków w położenie wymuszone popychacz (lub dźwignia) mikrołącznika może jeszcze nie powodując uszkodzenia aparatu przebyć drogę *2* zwaną wybiegiem, albo drogą wybiegu. Długość drogi wybiegu nie może zostać przekroczona ze względu na możliwość uszkodzenia łącznika, a więc droga ta decyduje o tolerancji położenia tej części zderzaka, którą na rys. 30 zaznaczono linią grubą.

Przy powrotnym ruchu popychacza dojście do punktu przestawienia styków nie powoduje jeszcze powrotu zestyków do położenia spoczynkowego: aby styki ruchome powróciły do położenia spoczynkowego, popychacz musi jeszcze przebyć drogę powrotną *3* do punktu przełączenia powrotnego. Ten odcinek drogi jest miarą nieczułości mikrołącznika. Ostatni odcinek drogi *4* popychacza nazywa się wybiegiem położenia spoczynkowego.



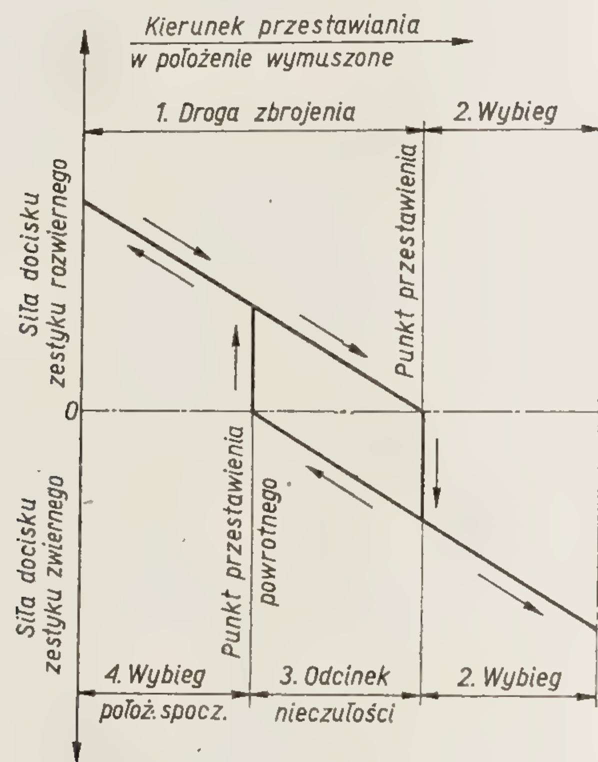
Rys. 34. Określenie odcinków drogi popychacza łącznika drogowego

Trwałość mechaniczna mikrołącznika podawana jest dla przypadku wykorzystywania maksymalnej drogi wybiegu. Zmniejszenie tej drogi wpływa wyraźnie na zwiększenie trwałości mechanicznej mikrołącznika. Z uwagi jednak na rozrzut parametrów technicznych w różnych egzemplarzach danego typu, nie można stosować zbyt krótkiej drogi wybiegu. Zaleca się tak ustawiać zderzaki względem łączników, by maksymalne przesunięcie popychacza wynosiło około 2/3 podawanej w katalogu maksymalnej dopuszczalnej drogi wybiegu. Podobnie nie należy stosować zderzaków, które ograniczałyby drogę powrotną poniżej 2/3 wielkości, podanej w katalogu.

Rysunek 35 jest wykresem siły wzajemnego docisku styków mikrołącznika w funkcji drogi popychacza. Rzędne dodatnie wykresu odpowiadają dociskowi styków zestyku rozwiernego, rzędne ujemne — dociskowi styków zestyku zwiernego. Podczas przesuwania popychacza na drodze zbrojenia *1* zestyki mikrołącznika pozostają wciąż w stanie spoczynkowym, a jedynie maleje siła wzajemnego docisku styków zestyku rozwiernego. W punkcie przestawienia zestyków siła docisku zmienia skokowo swój znak na skutek otwarcia zestyku rozwiernego i zamknięcia zestyku zwiernego.

Ze spadkiem docisku między stykami zamkniętego zestyku (odcinki *1* i *3*) maleje jego obciążalność, a rośnie oporność przejścia między stykami, w których to warunkach zestyk nie może pracować przez dłuższy czas. To właśnie powoduje, że i przy migowym przestawianiu styków trzeba ograniczać minimalną prędkość atakowania napędu mikrołącznika przez zderzak. Ta minimalna dopuszczalna prędkość zależy od obciążenia zestyku i od konstrukcji mikrołącznika. Podana poprzednio wartość 1 mm/h odpowiada wprawdzie znamionowemu obciążeniu otwieranego zestyku, odnosi się jednak do mikrołącznika w specjalnym wykonaniu, przystosowanym do bardzo małych prędkości zderzaka. W wykonaniu normalnym prędkość minimalna zależy jeszcze od konstrukcji elementu przerzutowego w mikrołączniku. W mikrołącznikach, w których tym elementem jest płaska sprężyna wyboczona, prędkość minimalna leży poniżej 0,01 mm/s, w mikrołącznikach zaś, w których przestawienie styków odbywa się za pośrednictwem sprężynki walcowej, minimalna prędkość dopuszczalna zderzaka może wynosić nawet 10 do 30 mm/s.

Dokładność powtarzalności punktu przestawienia styków mikrołącznika jest bardzo duża. W mikrołącznikach z wyboczoną sprężyną płaską dokładność ta, mierzona w punkcie docisku popychacza do sprężyny, przy zestyku nie obciążonym prądowo, wynosi około 0,001 mm. Mierzona na zewnętrznym końcu popychacza, a więc powtarzalność drogi *a* (rys. 34) jest mniejsza i w normalnym wykonaniu mikrołącznika wynosi około 0,01 mm. W miarę jak rośnie liczba dokonanych przestawień mikrołącznika maleje długość odcinka *a* początkowo (przez pierwsze 1–2 tysięcy przestawień) szybko, potem coraz wolniej, aż po około 10 tysiącach przestawień prawie nie ulega dalszej zmianie. W tych więc przypadkach, gdy zależy nam na wykorzystaniu maksymalnej dokładności mikrołącznika w zakresie tysięcy przestawień, trzeba przewidzieć urządzenie mikrometryczne, pozwalające na okresowe korygowanie położenia zderzaka względem popychacza mikrołącznika. Niektóre firmy dostarczają mikrołączniki o podwyższonej dokładności, nie wymagające późniejszej korekcji. Mikrołączniki te mają bardzo starannie wykonane prowadzenie popychacza, a dla wyeliminowania zmian, występujących w początkowym okresie eksploatacji przed wypuszczeniem ich na rynek poddane są około 20 tysiącom przestawień.



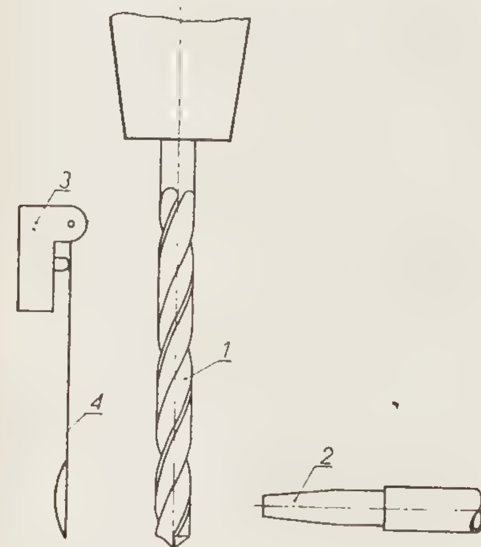
Rys. 35. Wykres zależności siły docisku styków od położenia popychacza dla mikrołączników (według publikacji firmy Honeywell)

Dokładność punktu przestawiania zależy od obciążenia styków. Przy obciążeniu zbliżonym do znamionowego występuje na stykach zjawisko lekkiego zgrzewania się, zmuszające do przyłożenia większej siły przestawiającej łącznik w nowe położenie, co wpływa ujemnie na dokładność powtarzalną punktu przestawienia. Z tego powodu mikrołączniki, od których wymaga się dużej dokładności nie powinny być obciążone więcej niż 10% obciążenia znamionowego. Zmniejszenie obciążenia prądowego zestyku mikrołącznika ma również na celu uniknięcia termicznych odkształceń sprężyny styku. Wspomniana firma Honeywell dostarcza mikrołączniki w specjalnym wykonaniu, gwarantując przez cały czas

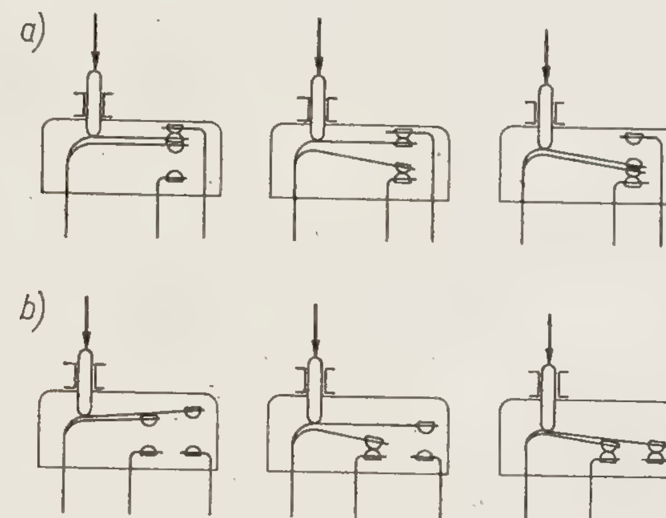
eksploatacji dokładność punktu przestawiania około 0,003 mm, ale jednocześnie poleca stosowanie mikrołączników w obwodach prądu zmiennego o mocy nie przekraczającej 10 W.

Pomiędzy dokładnością mikrołącznika a jego stopniem nieczułości istnieje pewna korelacja, jednak nie można na niej zbytnio polegać. Można spotkać mikrołączniki o dużej dokładności, a jednocześnie dość dużej jak na tego rodzaju aparaty nieczułości, sięgającej nawet milimetra.

Mierzona na popychaczu siła *P*, potrzebna do przestawienia mikrołącznika w położenie wymuszone, wynosi zwykle 100 do 300 G. Znaczne nieraz zmniejszenie siły, potrzebnej do przestawienia mikrołącznika w położenie wymuszone można osiągnąć przez zastosowanie odpowiednich dźwigni. W pewnych rozwiązaniach konstrukcyjnych dochodzi się do 10 gramów, a nawet mniej. Taki mikrołącznik, wyposażony w dźwignię, zakończoną np. wgłębieniem w kształcie łyżeczki, można wykorzystać w obrabiarkach zespołowych do kontrolowania, czy narzędzie (np. wiertło) nie zostało złamane (rys. 36). Po wycofaniu wiertła *1*



Rys. 36. Przykład zastosowania mikro łącznika o małej sile przestawiania do kontroli stanu wiertła



Rys. 37. Schemat mikrołączników z niejednoczesnym przestawianiem zestyków: a) przełączanie bezprzerwowe; b) zamykanie i otwieranie dwóch zestyków zwiernych w określonej kolejności

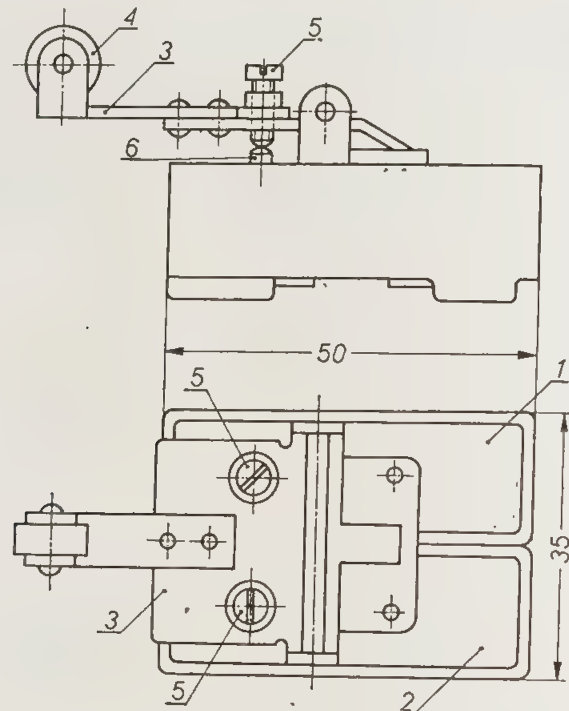
z obrobionego otworu zostaje otwarty zawór, doprowadzający do dyszy *2* sprężone powietrze, albo olej. Po drugiej stronie wiertła znajduje się mikrołącznik *3* z dźwignią *4*, zakończoną wgłębieniem. Jeśli koniec wiertła jest ułamany, to strumień powietrza (oleju) z dyszy *2* uderza we wgłębienie dźwigni *4* i przestawia mikrołącznik, który przekazuje odpowiedni sygnał do układu sterowania.

Mimo, że w mikrołącznikach nie można uzyskać tak bogatej gamy różnych programów przestawiania zestyków, jak to jest możliwe w przypadku łączników zwykłych, a to zarówno ze względu na migowe przestawianie zestyków jak i duże trudności przy zwiększaniu liczby zestyków mikrołącznika, to jednak większe firmy produkują szereg odmian mikrołączników np. z bezprzerwowym przestawianiem styków, z określoną kolejnością przestawiania styków jednego rodzaju itp.

Przykład mikrołącznika z bezprzerwowym przestawianiem zestyku pokazano schematycznie na rys. 37a. Widać na nim trzy kolejne fazy przestawiania styków ruchomych. Tę samą konstrukcję można wykorzystać w celu uzyskania mikrołącznika np. z dwoma zestykami zwiernymi, z których jeden zamyka się zawsze wcześniej i otwiera później niż zestyk drugi (rys. 37b).

Tę ostatnią odmianę mikrołącznika zaleca się stosować przede wszystkim do sterowania napędu typu cyklicznego, to znaczy takiego, który po zatrzymaniu za pośrednictwem łącznika drogowego zostaje następnie uruchomiony w tym samym zwrocie. Przykładem jest napęd stołu obrotowego w agregacie obróbczym. Sterowanie takiego napędu omówione będzie w rozdziale czwartym (rys. 44).

Produkowane są również zespoły dwóch mikrołączników *1* i *2* (rys. 38) ze wspólną dźwignią napędową *3*, wyposażoną w rolkę *4* oraz wkręty zderzakowe *5*, dotykające popychaczy mikrołączników *6*. Wkręty te pozwalają na regulowanie wyprzedzenia, z jakim jeden z mikrołączników zestawu zostaje wcześniej niż drugi przestawiony w położenie wymuszone, gdy zderzak dochodzi do rolki *4*.



Rys. 38. Mikrołącznik podwójny z wkrętem regulacyjnym

Gdy zderzak mija rolkę, najpierw do położenia spoczynkowego powraca ten mikrołącznik, który został później naciśnięty, a więc którego wkręt zderzakowy jest mniej wkręcony. Opisany mikrołącznik daje szersze możliwości wykorzystania niż mikrołącznik przedstawiony na rys. 37b, zarówno z uwagi na możliwość regulacji wartości wyprzedzania, jak i na podwójny zestaw całkowicie niezależnych zestyków.

5. Elementy obsługi

Do tej grupy łączników zalicza się aparaty przeznaczone do wytwarzania sygnałów wejściowych przez obsługującego maszynę, a więc łączniki przekazujące do układu sterowania polecenia obsługującego.

5.1. Przyciski sterownicze

Jednozestykowy przycisk sterowniczy może być wyposażony albo w zestyk zwierny albo rozwierny. Przycisków z zestykiem zwiernym używa się do załączania przekaźników pośredniczących, przycisków z zestykiem rozwiernym — do wyłączania.

Spośród odmian przycisków z zestykami wielokrotnymi (zawierających więcej niż jeden zestyk) najczęściej stosuje się w układach sterowania przyciski z jednym zestykiem zwiernym i jednym rozwiernym. Przy stosowaniu przycisków z większą liczbą zestyków należy uwzględniać możliwość wprowadzenia błędnego sygnału wejściowego do układu sterowania. Błąd taki może wynikać z niepełnego wciśnięcia przycisku, na skutek czego jeden z jego zestyków nie przejdzie do stanu wymuszonego, albo też z nierównoczesnego przestawienia dwóch zestyków jednego rodzaju. Na ogół błąd spowodowany niepełnym wciśnięciem przycisku nie powoduje skutków szkodliwych dla obrabiarki, chyba, że w jego wyniku nie zostaje przekazany do układu sterowania np. sygnał załączenia hamowania napędu.

Przyciski sterownicze są przeważnie wykonywane jako łączniki o napędzie zwrotnym, stosuje się jednak czasami przyciski wykonane w ten sposób, że mogą one zostać zamknięte w położeniu wymuszonym. Przyciski te są zwykle zaopatrzone w zamek typu bagnetowego. Przy normalnym naciskaniu guzika przycisk pracuje jak łącznik zwrotny, jeśli jednak po naciśnięciu guzika obrócimy go w prawo, to przycisk pozostanie przytrzymany przez zamek bagnetowy w położeniu wymuszonym.

Jeśli układ jest w ten sposób opracowany, że praca obrabiarki rozpoczyna się zawsze od uruchomienia tego samego silnika (np. silnika napędu pompy hydraulicznej), przy czym odpowiednia blokada uniemożliwia przekazanie do układu sterowania jakiegokolwiek innego sygnału wejściowego, przed wprowadzeniem pierwszego sygnału, to do przekazywania tego sygnału można stosować przyciski specjalnej konstrukcji, pozwalające na zaryglowanie w położeniu spoczynkowym np. za pomocą kluczyka typu „Yale". Przycisk taki zabezpiecza przed uruchomieniem obrabiarki przez osobę niepowołaną.

W pewnych wyjątkowych przypadkach może się okazać celowym zastosowanie przycisku, ryglowanego kluczem w położeniu wymuszonym. Przycisk taki można zwykle ryglować również w położeniu spoczynkowym.

Guziki przycisków sterowniczych są wykonane z barwionych materiałów izolacyjnych. W zaleceniach międzynarodowych CEI znajduje się kod barw przycisków, ustalający barwę guzika w zależności od charakteru polecenia, przekazywanego do układu sterowania za pośrednictwem danego przycisku. Kod ten został przyjęty między innymi przez polską normę branżową wyposażenia elektrycznego obrabiarek (patrz załącznik Nr 1). Według tego kodu czerwona barwa guzika jest zarezerwowana dla przycisków, których naciśnięcie powoduje wyłączenie napędu całej obrabiarki, albo jednego z jej mechanizmów.

Te same dokumenty ustalają również kod barw lampek sygnalizacyjnych (załącznik Nr 2).

W wielu przypadkach okazuje się wygodne dla obsługi stosowanie przycisków z wmontowanymi lampkami sygnalizacyjnymi, które oświetlają od spodu guzik przycisku, wykonany z materiału półprzezroczystego. Lampki te mogą być wykorzystane jedynie do sygnalizowania stanów układu, związanych z sygnałami wejściowymi, przekazywanymi przez zestyki danego przycisku.

Istnieją dwa sposoby wykorzystywania lampek sygnalizacyjnych, wmontowanych w przyciski:

— światło lampki w przycisku ma charakter potwierdzenia: informuje ono obsługującego obrabiarkę, że czynność napędowa, zainicjowana przez naciśnięcie tego przycisku jest w toku. Tak na przykład, jeśli naciśnięcie przycisku powoduje uruchomienie silnika *M*, to lampka tego przycisku zaświeca się po jego naciśnięciu i świeci się tak długo, jak długo silnik *M* jest w ruchu.

— światło lampki w przycisku ma charakter wskazówki: informuje ono,

że w danym momencie należy, albo przynajmniej można, nie wprowadzając zakłóceń do ustalonego przebiegu pracy maszyny, nacisnąć przycisk, którego guzik jest oświetlony przez lampkę.

Normy obrabiarkowe nie pozwalają na stosowanie przycisków, których guziki zmieniają barwę przy zapaleniu lampki. W tej sytuacji barwa przycisku z wmontowaną lampką sygnalizacyjną musi odpowiadać jednocześnie kodowi barw przycisków i kodowi barw lampek sygnalizacyjnych. To z kolei powoduje, że przy pierwszym sposobie wykorzystywania lampek można stosować jedynie przyciski białe, przy drugim zaś należy ograniczyć stosowanie czerwonych przycisków świecących do przypadków, w których zapalenie się lampki jest równoznaczne z poleceniem natychmiastowego naciśnięcia świecącego się czerwonego przycisku. Załącznik nr 3 podaje zestawienie kolorów, znaczenia i przykładów stosowania przycisków z wmontowaną lampką sygnalizacyjną.

5.2. Przełączniki

Do organów obsługi należą również przełączniki stabilizowane, typu dźwigienkowego i obrotowego.

Zwykle stosuje się dwupołożeniowe przełączniki dźwigienkowe. Sa one najczęściej wyposażone w dwa zestyki, z których w każdym położeniu przełącznika jeden jest zamknięty, a drugi otwarty. Przełączniki takie są stosowane do zamykania i otwierania obwodów pomocniczych oraz do przełączania układu sterowania z cyklu automatycznego na ustawianie ręczne. Jeśli, jak np. w obrabiarkach zespołowych, przyciski ruchów ustawiania znajdują się na innych pulpitach (przy poszczególnych jednostkach obróbczych), niż przełącznik rodzaju pracy (centralny pulpit sterowniczy), to przełącznik ten zgodnie z wymaganiami normy powinien być w każdym położeniu ryglowany kluczem, albo też być umieszczony wewnątrz szafy lub przegródki pulpitu zamykanej na klucz. Chodzi o zabezpieczenie obsługi przed niebezpieczeństwem jakie mogłoby wyniknąć z przestawienia w niewłaściwym momencie przez osobę niepowołaną przełącznika rodzaju pracy z ustawiania na pracę automatyczną lub odwrotnie.

Dla tego samego celu co łączniki dźwigienkowe używa się czasem również jedno i dwutorowych połączników i przełączników obrotowych, zwykle w wykonaniu zewnętrznym podobnym do przycisku sterowniczego.

Znacznie większe zastosowanie niż przełączniki dźwigienkowe znajdują wielotorowe i wielopołożeniowe przełączniki obrotowe, spotykane w odmianach warstwowej i krzywkowej.

Przełączniki pierwszego rodzaju są wykorzystywane zasadniczo jako łączniki manewrowe, drugiego — prawie wyłącznie jako selekcyjne.

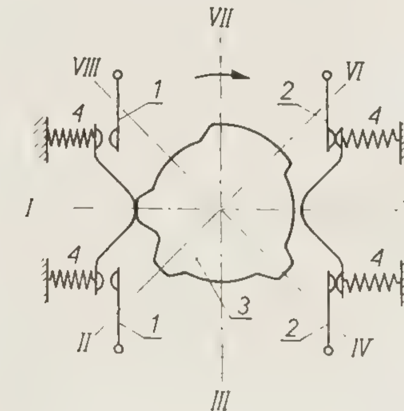
Przełączniki warstwowe według klasyfikacji zdolnościowej należą do grupy rozłączników. Z tego powodu nie należy stosować ich w obwodach zasilania silników, jeśli przewiduje się możliwość pracy w kategorii AC_4, albo AD_4.

Przełączniki warstwowe wykorzystywane są czasem jako przełączniki selekcyjne, dzięki stosunkowo dużej elastyczności programu łączeń. Pod określeniem „elastyczny program łączeń" rozumie się łatwość doboru żądanego programu łączeń oraz łatwość ewentualnej zmiany tego programu.

Największe możliwości wykorzystania przedstawia przełącznik krzywkowy, w którym tarczki krzywkowe wykonane z materiału izolacyjnego osadzone na wspólnej osi swymi występami przestawiają w położenie wymuszone zestyk rozwierny (lub zestyki rozwierne). Na rys. 39 przedstawiono schematycznie jeden segment przełącznika krzywkowego z dwoma mostkowymi zestykami rozwiernymi *1* i *2*. W przedstawionym na rysunku położeniu zestyk *1* jest otwarty, po-

nieważ występ tarczy krzywkowej *3* naciska na jego styk ruchomy. Zestyk *2* jest zamknięty pod działaniem sprężyn *4*, dociskający styk ruchomy do styków nieruchomych.

Łączniki krzywkowe są wykonywane w odmianach odpowiadających następującym wartościom kąta przestawiania krzywek: 90°, 60°, 45° i 30°, co pozwala na uzyskiwanie maksymalnej liczby położeń, wynoszącej odpowiednio: 4, 6, 8 i 12. W zależności od potrzeby przełącznik krzywkowy może mieć od dwóch położeń do maksymalnej ich liczby, wyznaczonej przez kąt przestawiania. Przełącznik przedstawiony na rys. 39 jest przełącznikiem ośmiopołożeniowym, o kącie przestawiania równym 45°. Jeśli przewiduje się wykorzystanie mniejszej liczby położeń, niż maksymalne, producent przełącznika wprowadza blokowanie napędu dla położeń nie wykorzystywanych.



Rys. 39. Schematyczny rysunek jednego segmentu przełącznika krzywkowego

Z uwagi na łatwość wykonywania krzywek o liczbie występów od jednego do tylu, ile położeń ma przełącznik, i o dowolnym ukształtowaniu występów oraz możliwość osadzania znacznej liczby segmentów (do kilkunastu) na wspólnej osi, przełączniki krzywkowe są łącznikami o bardzo bogatym i elastycznym programie łączeń. Każdy segment przełącznika może być wyposażony w dwa lub trzy zestyki, rozstawione co 180° lub 120°.

Program łączeń jednego segmentu zależy wyłącznie od liczby położeń przełącznika i od kształtu krzywki. Dzięki temu programy łączeń poszczególnych segmentów są od siebie całkowicie niezależne. W pewnym stopniu są również niezależne od siebie programy łączeń zestyków jednego segmentu. Niezależność ta jest całkowita, gdy liczba wykorzystywanych położeń przełącznika nie przekracza maksymalnej liczby jego położeń, podzielonej przez liczbę zestyków przestawianych przez jeden segment. Oznaczając przez α kąt jednego przestawienia, przełącznika, przez n_{max} — maksymalną liczbę jego położeń, przez k — liczbę zestyków jednego segmentu, wreszcie przez n_0 — liczbę wykorzystywanych położeń przełącznika, można powiedzieć, że program łączeń wszystkich zestyków każdego segmentu przełącznika jest dowolny, jeśli $n_0 \leqslant \frac{n_{max}}{k}$. Oznacza to, że po opracowaniu schematu układu, w którym przewidziano szereg zestyków krzywkowego przełącznika selekcyjnego, spełniającego podany wyżej warunek, można zastosować przełącznik o dwu lub trzykrotnie mniejszej liczbie segmentów, niż w układzie występuje zestyków tego przełącznika. Oszczedność tę uzyskuje się dzięki możliwości wykorzystania w tych warunkach wszystkich zestyków przełącznika. Oczywiście każda krzywka sterująca musi mieć kształt, odpowiadający programowi łączeń wszystkich jej zestyków.

Jeżeli jednak $n_0 > \frac{n_{max}}{k}$, to stan każdego zestyku w n-tym położeniu jednego segmentu jest powtórzeniem stanu drugiego zestyku tegoż segmentu w położeniu $n \pm \frac{n_{max}}{k}$. Wyjaśnić to można na przykładzie programu łączeń zestyków *1* i *2*, przedstawionych na rys. 39 gdzie $n_{max} = 8$; $k = 2$, a więc $\frac{n_{max}}{k} = 4$. Jeśli przewiduje się wykorzystanie nie więcej niż czterech położeń tego przełącznika, to dla danej krzywki zestyk *1* będzie zamknięty w położeniach: *I*, *II*, *IV*, zestyk zaś *2* — w położeniach *II* i *III*. Jeżeli jednak zechcemy wykorzystać więcej położeń przełącznika, to w położeniu *V* zestyk *2* będzie z konieczności w takim samym stanie, w jakim był zestyk *1* w położeniu *I* (przy krzywce, jak na rysunku, będzie to stan zamknięty). Podobnie zestyk *1* w położeniu *V* będzie otwarty, ponieważ zestyk *2* jest otwarty w położeniu *I*. W taki sam sposób są uzależnione stany zestyków *1* i *2* w dalszych położeniach przełącznika, a więc w położeniu *II* i *VI*, *III* i *VII* oraz *IV* i *VIII*.

Z powyższych rozważań wynika, że w przypadkach, gdy $n_0 > \frac{n_{max}}{k}$, trzeba po opracowaniu struktury schematu układu przeanalizować programy łączeń poszczególnych zestyków tak, aby można było dobrać pary, lub trójki, mogące współpracować z jedną krzywką. Pozwoli to na zastosowanie przełączników o minimalnej liczbie segmentów.

Dodatkową zaletą łączników krzywkowych jest możność wyboru, czy zestyk, zamknięty w dwóch kolejnych położeniach łącznika ma pozostać również zamknięty w położeniu nieustalonym, podczas przestawiania przełącznika z jednego z tych położeń w drugie, czy też w położeniu nieustalonym (przejściowym) zestyk ten ma się na chwilę otworzyć. Tak na przykład na rys. 39 zestyk *1* jest zamknięty w dwóch kolejnych położeniach przełącznika: pierwszym i drugim oraz w dwóch innych również kolejnych: szóstym i siódmym. Przy przestawianiu jednak z położenia *I* w położenie *II* zestyk zostaje na chwilę otwarty, ponieważ między występami krzywki, odpowiadającymi tym położeniom znajduje się wycięcie. Przestawienie natomiast z położenia *VI* w położenie *VII* odbywa się bez otwierania zestyku (występ na krzywce nie ma wcięcia). Wybór jednego lub drugiego sposobu przełączania zależy wyłącznie od zamawiającego przełącznik u producenta, przy czym, jak to pokazano na omawianym szkicu, jedna krzywka może być wyposażona w występy odpowiadające obu rozwiązaniom. W przełącznikach warstwowych mamy właściwie do dyspozycji jedynie rozwiązanie z przerwą podczas przestawiania. Są wprawdzie możliwości wykonania przełącznika warstwowego z przełączaniem bezprzerwowym (przez zastosowanie styków wydłużonych), jednak możliwość stosowania takiego rozwiązania jest dość problematyczna, ponieważ wiąże się to od razu z problemem elastyczności programu łączeń, a jak wiadomo, wykonywanie na zamówienie specjalnych warstw przełączników warstwowych jest znacznie kłopotliwsze, niż wykonywanie specjalnych krzywek dla przełącznika krzywkowego.

Przełączniki krzywkowe — w zakresie obciążeń odpowiadających ich charakterystyce technicznej — mogą być stosowane również w charakterze przełączników manewrowych, w obrabiarkach jednak stosuje się je prawie wyłącznie jako przełączniki selekcyjne.

Rozdział trzeci

Zasady opracowania schematów układu sterowania elektrycznego obrabiarek

1. Forma zewnętrzna

Normy wyposażenia elektrycznego obrabiarek postanawiają, że wraz z obrabiarką należy jej nabywcy dostarczyć odpowiedni zestaw dokumentacji wyposażenia elektrycznego. Dokumentacja ta ma na celu umożliwić użytkownikowi obrabiarki:

a) pełne zrozumienie działania układu sterowania i napędu;

b) prowadzenie we własnym zakresie niezbędnych napraw układu i usuwanie jego usterek funkcjonowania;

c) prowadzenie prac konserwacyjnych.

Podstawowymi dokumentami takiego zestawu są:

1) plan rozmieszczenia elementów wyposażenia elektrycznego na obrabiarce, w jej wnękach, w szafie sterowniczej itd., wraz z planem tych połączeń zewnętrznych, które ulegają rozłączeniu podczas transportu obrabiarki;

2) schemat obwodowy układu sterowania, sygnalizacji i napędu;

3) zestawienie elementów wyposażenia elektrycznego obrabiarki;

4) wykaz elementów zapasowych.

Normy ustalają nie tylko zakres dokumentacji, lecz również formę jej opracowania: wymiary arkuszy, rozmieszczenie poszczególnych obwodów, symbole graficzne itp. Wymaganiom tym muszą w pełni odpowiadać schematy w swej ostatecznej postaci, jednakże w okresie projektowania stosuje się zazwyczaj nie tylko mniej różnorodny zestaw symboli, niż przewidziany przez normy, ale nawet używa się oznaczeń nie zalecanych przez normy, jeżeli w tej fazie projektowania są one wygodniejsze.

Z tego przywileju będziemy również korzystali w niniejszej książce, przyjmując w pierwszej fazie projektowania dla zestyków zwiernych i rozwiernych (bez względu na ich przynależność do pewnego typu łącznika) symbole, przyjęte powszechnie w literaturze dotyczącej projektowania układów sterowania przekaźnikowego. Są to symbole dotychczas powszechnie stosowane w naszym przemyśle obrabiarkowym dla oznaczania zestyków łączników o napędzie elektromagnesowym (symbole 1 a, b w tabl. 1). Odrębne symbole dla przycisków sterowniczych (symbole 5a, 6), łączników drogowych (symbole 3 i 4) i innych łączników będą stosowane jedynie wtedy, gdy wyodrębnienie tych elementów w omawianym schemacie okaże się z pewnych względów celowe, np. dla zwrócenia uwagi na pochodzenie sygnałów wejściowych.

W całej dokumentacji wyposażenia elektrycznego obrabiarki stosuje się cyfrowo-literowe oznaczenia poszczególnych aparatów: liczba poprzedzająca oznaczenie literowe oznacza zwykle kolejny numer aparatu danego typu w układzie, a jedno, czy dwuliterowy symbol służy do oznaczenia rodzaju aparatu (np. *12S* oznacza stycznik Nr 12; *3Pr* — przełącznik Nr 3). W schemacie obwodowym

Tabela 1

Lp.	Symbol	Znaczenie	Uwagi
1	a) b)	zestyki łącznika z napędem elektromagnesowym: a) zwierny, b) rozwierny	w literaturze, dotyczącej zestykowych obwodów sterowania, używane dla oznaczania wszystkich zestyków
2		para zestyków przełączających bezprzerwowo	symbol wprowadzony wyłącznie dla potrzeb tej książki
3	a) b)	zestyk rozwierny łącznika drogowego: a) zamknięty w położeniu wyjściowym; b) otwarty w położeniu wyjściowym	
4	a) b)	zestyk rozwierny łącznika drogowego: a) otwarty w położeniu wyjściowym; b) zamknięty w położeniu wyjściowym;	
5	a) b)	zestyki przycisku sterowniczego: a) zwierny; b) rozwierny.	
6	a) b) c) d) e) f)	symbole, określające bliżej sposób przedstawiania łącznika i jego zestyków: a) napęd ręczny; b) napęd mechaniczny od zderzaka; c) przestawianie zestyku w położenie wymuszone ze zwłoką czasową d) przestawianie zestyków w położenie spoczynkowe ze zwłoką; e) napęd od ciśnienia cieczy lub gazu (w czujnikach ciśnienia); f) napęd od nagrzewanego elementu (w przekaźnikach termicznych); g) napęd bez siły zwrotnej (w łącznikach stabilizowanych)	

Lp.	Symbol	Znaczenie	Uwagi
7	a) b) c) d) e) f)	uzwojenia wzbudzenia: a) przekaźnika lub stycznika; b) przekaźnika ze zwłoką przy zamykaniu; c) przekaźnika czasowego ze zwłoką przy otwieraniu; d) elektromagnesu; e) hamulca elektromagnetycznego; f) rozdzielacza hydraulicznego (elektrozaworu).	
8	M 3~	silnik asynchroniczny, trójfazowy, klatkowy	

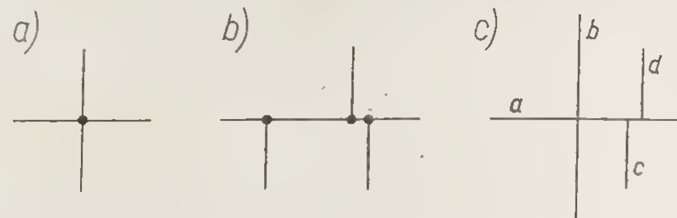
tymi samymi oznaczeniami opisuje się zestyki jednego i tego samego łącznika, a więc *26P* może oznaczać zarówno cewkę przekaźnika Nr 26, jak i jego zestyk zwierny, czy rozwierny. Z uwagi na ułatwienie pisania wyrażeń strukturalnych obwodów układu sterowania (zwłaszcza obwodów wielotaktowych) w niniejszej książce zastosuje się odmienny sposób oznaczania łączników, a mianowicie:

a) łączniki są oznaczane jedną literą; w celu rozróżnienia łączników układu stosuje się albo różne litery ($A, B, \ldots X, Y, Z$) albo też tę samą literę z różnymi indeksami cyfrowymi ($W_1, W_2, \ldots W_n$);

b) w przypadku zestyków łączników o napędzie zwrotnym ich zestyki rozwierne będą oznaczane małą literą z kreską u góry (np. $\overline{a}$, $\overline{x}$, $\overline{w}$), natomiast zestyki zwierne taką samą literą bez kreski.

Sposób oznaczania zestyków zwiernych i rozwiernych, podany w tabl. 1, wystarcza całkowicie do ich jednoznacznego rozróżniania, można więc — nawet w fazie projektowania układu — oba rodzaje zestyków opisać literami bez kresek u góry. Można też przy projektowaniu stosować na schematach jednakowe symbole graficzne dla zestyków zwiernych i rozwiernych, opisując je tylko odpowiednio literami bez kreski i z kreską, jak podano w punkcie *b*. W literaturze technicznej można spotkać oba te sposoby, a w niniejszej książce będą stosowane oba sposoby jednocześnie (zestyk rozwierny wg symbolu 1b tabeli 1 a obok jego oznaczenie literowe z kreską u góry). Metoda ta zmniejsza prawdopodobieństwo występowania błędów rysunkowych w gotowych schematach, ułatwiając jednocześnie wykrycie ewentualnego błędu.

Do zmniejszenia błędów, powstających przy rysowaniu i kopiowaniu schematu, przyczynia się również przyjęty w niniejszej książce sposób rysowania skrzyżowań i połączeń przewodów (rys. 40c), pozwalający na pominięcie zaznaczania połączeń kropkami.



Rys. 40. Oznaczanie na schematach: a) połączenia przewodów; b) rozgałęzienia c) skrzyżowania przewodów (bez połączenia i z połączeniem galwanicznym)

Zalecenia międzynarodowe CEI (Commission Electrotechnique Internationale — Międzynarodowa Komisja Elektrotechniki) podają, że zestyki łączników o napędzie elektromagnesowym zwrotnym należy rysować w stanie, odpowiadającym otwartemu obwodowi wzbudzenia (w stanie swobodnym), natomiast zestyki łączników o napędzie mechanicznym i ręcznym — w takim stanie (położeniu), w jakim znajdują się one przed uruchomieniem pracy obrabiarki (w tak zwanym wyjściowym położeniu obrabiarki). Jeżeli łącznik drogowy o napędzie zwrotnym w wyjściowym położeniu obrabiarki znajduje się w stanie wymuszonym, to dla potwierdzenia tego faktu należy przy symbolach zestyków tego łącznika narysować kontur zderzaka, utrzymującego łącznik w położeniu wymuszonym. Powyższa zasada bardzo ułatwia odczytanie schematów sterowania i będzie przestrzegana w niniejszej książce, ilekroć będą używane odrębne symbole dla oznaczenia zestyku łącznika drogowego.

W wyjściowym położeniu obrabiarki stan zestyków niektórych łączników o napędzie ręcznym i mechanicznym może być różny, zależnie od tego, według jakiego ustalonego programu sterowania (cyklu pracy) przebiega sterowanie pracą obrabiarki. Ta zależność stanów wyjściowych zestyków od wybranego programu sterowania ma miejsce najczęściej w odniesieniu do przełączników selekcyjnych. Aby więc uniknąć jakichkolwiek niejasności należy schemat rysować dla wybranego, ustalonego programu pracy obrabiarki. Wszelkie zmiany stanu zestyków, związane ze zmianą programu sterowania należy podawać w odpowiednich zestawieniach tabelarycznych, umieszczonych na tym samym arkuszu, co schemat obwodowy.

2. Podstawowe warunki, jakim powinien odpowiadać układ sterowania elektrycznego obrabiarki

Wymagania stawiane układowi sterowania elektrycznego obrabiarki można ująć następująco: układ sterowania powinien zapewniać przetwarzanie sygnałów wejściowych w sposób odpowiadający przeznaczeniu obrabiarki, a jednocześnie zapewniający maksimum bezpieczeństwa obsłudze maszyny, samej obrabiarce, narzędziom i przedmiotowi obrabianemu.

Ponieważ w najlepszym rozwiązaniu i przy zastosowaniu elementów najwyższej jakości nie można wykluczyć sporadycznego występowania niesprawności układu, spowodowanych najczęściej niesprawnością jego elementów, układ po-

winien być tak zaprojektowany, aby przypadkowa niesprawność jakiegokolwiek elementu nie mogła stać się przyczyną uszkodzenia narzędzia lub obrabiarki, czy też zagrozić bezpieczeństwu obsługi. Norma branżowa wyposażenia elektrycznego obrabiarek, wzorem zaleceń CEI, za niespełnienie tych wymagań czyni odpowiedzialnym projektanta układu sterowania. Projektant jest również zobowiązany tak opracować układ, by przekazanie do niego niewłaściwego sygnału wejściowego na skutek pomyłki czy nieuwagi obsługującego, nie mogło spowodować żadnego z wyżej podanych skutków. Układ sterowania powinien utrzymać swoje parametry w warsztatowych warunkach eksploatacji przez cały okres pracy obrabiarki. Oczywiście układ jak i cała obrabiarka podlega okresowym przeglądom i konserwacji, łącznie z wymianą tych elementów, które wykazują objawy silnego zużycia.

Norma branżowa postanawia również, że pomiędzy cewką łącznika o napędzie elektromagnesowym lub cewką elektrozaworu, a uziemionym przewodem zasilającym nie powinny znajdować się żadne zestyki. W drodze wyjątku norma dopuszcza umieszczanie po stronie przewodu uziemionego zestyków mających charakter zabezpieczeń (np. zestyków przekaźnika termicznego), a i to pod warunkiem, że przewody łączące dany zestyk z cewką i przewodem uziemionym nie wychodzą poza obręb wspólnego pomieszczenia na aparaturę (np. poza obręb szafy sterowniczej).

Inny punkt normy branżowej zaleca — o ile to możliwe bez dodatkowej rozbudowy układu — by załączenie napędu odbywało się przez zamknięcie odpowiednich obwodów sterowania, wyłączenie zaś — przez ich otwarcie.

Ważnym postanowieniem normy branżowej jest nałożenie obowiązku wyposażenia układu sterowania w urządzenie do natychmiastowego wyłączania całego napędu obrabiarki w sytuacji niebezpiecznej dla obsługi lub dla maszyny. Urządzenie takie może polegać na tym, że naciśnięcie przycisku „stop awaryjne" przerywa obwód specjalnego stycznika, którego otwarcie odcina od sieci zasilającej obwody zasilania wszystkich silników, albo też na tym, że za pośrednictwem przycisku „stop awaryjne" zostają przerwane obwody wzbudzenia wszystkich styczników, których zestyki sterują obwodami wyjściowymi (obwodami zasilania silników, elektrozaworów, sprzęgieł elektromagnetycznych itp.).

Naciśnięcie przycisku „stop awaryjne" nie powinno powodować wyłączenia urządzeń, których zasilanie w przypadku awaryjnego zatrzymania obrabiarki jest konieczne ze względów bezpieczeństwa, a mianowicie: uchwytów elektromagnetycznych lub elektrohydraulicznych, hamulców o napędzie elektromagnesowym itp. Po zatrzymaniu obrabiarki przyciskiem „stop awaryjne" mogą pozostać nie wyłączone te napędy, których praca nie może być niebezpieczna dla obrabiarki i dla jej obsługi (np. silnik pompki do chłodziwa, umieszczony wewnątrz korpusu obrabiarki).

3. Podstawowe rodzaje niesprawności układu

Niesprawności układu, występujące podczas jego pracy, można podzielić na trzy podstawowe rodzaje:

1) niesprawności systematyczne, występujące za każdym razem, ilekroć powtórzy się taki sam stan sygnałów wejściowych, lub wyjściowych;

2) niesprawności również systematyczne, lecz pojawiające się dopiero po pewnym czasie od oddania obrabiarki do eksploatacji;

3) niesprawności przypadkowe, występujące sporadycznie. Niesprawności te występują na ogół przy określonych stanach układu sterowania, jednak powtó-

rzenie się tego samego stanu układu czasami tylko prowadzi do pojawienia się niesprawności.

Pierwszy rodzaj niesprawności, to niesprawności wynikające z błędów schematu, albo błędów montażu. Można je stosunkowo łatwo wykryć podczas prób i badań obrabiarki, przed oddaniem jej użytkownikowi. Mimo więc, że niesprawności tego rodzaju mogą czasem spowodować nawet poważniejsze uszkodzenie maszyny, bardzo rzadko przechodzą one niezauważone przez kontrolę fabryczną i dlatego równie rzadko są powodem reklamacji ze strony użytkownika.

Niesprawności układu, zaliczone do drugiej grupy, są zwykle spowodowane albo przez zużycie się elementów układu podczas pracy, albo też przez uszkodzenie, wynikłe z ukrytej wady elementu. Niesprawności te można zredukować do minimum, stosując odpowiednie środki zapobiegawcze, a mianowicie:

a) montowanie układu z elementów odpowiednio wysokiej jakości:

b) zachowanie pewnego marginesu bezpieczeństwa między warunkami, w jakich będą pracowały elementy układu, a parametrami tych elementów, podawanymi przez producenta, jako znamionowe;

c) bardzo staranne wykonanie montażu;

d) wprowadzenie dodatkowych zabezpieczeń tam, gdzie niesprawność danego elementu może mieć poważne skutki.

Projektanci układów sterowania stosują chętnie elementy wysokiej jakości nawet wtedy, gdy odpowiedni element pracuje mało intensywnie, natomiast rzadziej zwracają uwagę na pozostałe środki zwiększenia czasu bezawaryjnej pracy układu.

Należy unikać obciążenia elementów do granic dopuszczalnych, z drugiej jednak strony stosowany margines bezpieczeństwa nie powinien być zbyt duży, zwłaszcza w tych przypadkach, gdy zmuszałoby to do stosowania aparatów wyraźnie większych lub droższych.

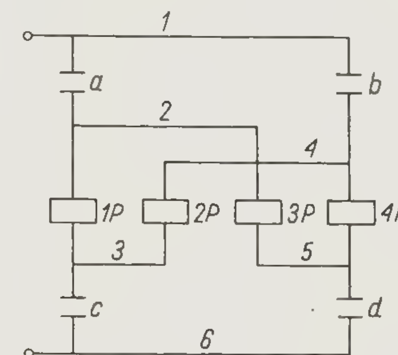
Ustalenie parametrów technicznych elementów przeznaczonych do zastosowania w układzie powinno uwzględniać również rzeczywiście potrzebną trwałość mechaniczną i łączeniową, określaną na podstawie przewidywanej częstości manewrów oraz założonego okresu pracy bezawaryjnej. Jeżeli to możliwe, elementy wyposażenia elektrycznego obrabiarki należy tak dobierać, by ich trwałość mechaniczna była co najmniej równa przewidywanemu okresowi eksploatacji obrabiarki. Trwałość zaś manewrowa tych łączników, w których styki można wymieniać, powinna być co najmniej tak duża, by wymiana styków mogła się odbywać jedynie przy okazji okresowych remontów obrabiarki. Jeżeli nie można dobrać aparatu, o optymalnej trwałości to celowym jest stosowanie łączników łatwo wymiennych (np. wtykowych).

Przykładem właściwej troski o długotrwałe zachowanie przez układ pełnej jego sprawności jest np. zastosowanie obwodów gaszących w układach prądu stałego; sprawdzenie dopuszczalnych prędkości zderzaków względem łączników drogowych itp.

Najczęściej jednak niesprawności drugiej grupy są wynikiem zwarć i przerw w obwodach sterowania, występujących z biegiem czasu eksploatowania układu.

Zwarcie w obwodzie (niespodziewane jego zamknięcie) powstaje zwykle na skutek uszkodzenia izolacji i zetknięcia się odizolowanego przewodu z masą, z którą jest połączony uziemiony przewód, zasilający obwody sterowania.

Aby zetknięcie przewodu z masą nie mogło spowodować niespodziewanego zamknięcia obwodu stycznika lub przekaźnika, norma branżowa wprowadza podany poprzednio zakaz umieszczania zestyków między cewką łącznika a przewodem uziemionym. Odpowiedni punkt normy nie ma jednak zastosowania w tych układach, w których żaden z przewodów zasilających nie jest uziemiony. Korzystając w takich układach z możliwości umieszczania zestyków po stronie jednego i drugiego przewodu doprowadzającego napięcie do układu sterowania, należy upewnić się, czy w konkretnym przypadku nie prowadzi to do innej niedopuszczalnej sytuacji. Po pierwsze umieszczenie zestyków łącznika po stronie jednego i drugiego przewodu zasilającego jest niedopuszczalne, jeżeli tak rozdzielone zestyki mają wspólny styk ruchomy, prowadzi to bowiem do powstawania zwarć łukowych między przewodami zasilającymi. Po drugie umieszczenie zestyków po obu stronach cewek może prowadzić do powstawania tak zwanych obwodów fałszywych, polegających na tym, że obwody wzbudzenia trzech lub więcej elek-



Rys. 41. Przykład powstawania obwodów fałszywych

tromagnesów zostają w pewnych przypadkach połączone szeregowo, na skutek czego mimo bezpośrednio otwarcia obwodów zasilania pozostają one zamknięte przez wspomniane wyżej szeregowe połączenie cewek. Wprawdzie napięcie na jednej cewce jest wtedy trzykrotnie mniejsze, lecz może być wystarczające do podtrzymania zwory elektromagnesu w położeniu zamkniętym. Na rysunku 41 podano przykład fałszywego obwodu. Na rysunku tym pominięto wszelkie zbędne szczegóły, które nie były konieczne dla wyjaśnienia istoty fałszywych obwodów. Przypuśćmy, że w pewnym takcie są zamknięte zestyki *a*, *b* i *c*, zestyk zaś *d* jest otwarty. W takiej sytuacji będą załączone przekaźniki *1P* i *2P*, wyłączone zaś — *3P* i *4P*. Jeżeli teraz zostanie otwarty zestyk *a*, powinno to spowodować wyłączenie przekaźnika *1P*. W rzeczywistości wyłączanie przekaźnika *1P* prawdopodobnie wogóle nie nastąpi, ponieważ z chwilą otwarcia zestyku *a* powstał fałszywy obwód, prowadzący od przewodu *1*, przez zestyk *b*, przewód *4*, cewki przekaźników *4P* i *3P*, przewód *2*, cewkę *1P*, przewód *3*, zestyk *c* do przewodu *6*. Jeśli przekaźniki, połączone w tym obwodzie szeregowo, są tego samego typu, a obwód wzbudzenia jest zasilany prądem stałym, to cewka każdego z tych trzech przekaźników znajduje się pod napięciem trzykrotnie mniejszym od znamionowego, co prawdopodobnie nie wystarczy do przyciągnięcia zwory przez przekaźnik *3P* i *4P*, ale wystarczy, aby utrzymać przekaźnik *1P* w stanie załączonym. W przypadku zaś, gdy przedstawione na schemacie łączniki są różnych typów (np. *1P* i *4P* będą dużymi stycznikami, a *3P* przekaźnikiem pomocniczym o znacznej oporności uzwojenia wzbudzenia), to w opisanej sytuacji może nawet nastąpić załączenie przekaźnika *3P*.

Prawdopodobieństwo bezpośredniego zwarcia dwóch przewodów jest bardzo małe. Zasadniczo może to mieć miejsce jedynie wtedy, gdy nastąpi uszkodzenie izolacji dwóch przewodów, stykających się ze sobą i to dokładnie w miejscu styku. Dopuszczenie do takiej sytuacji obciąża użytkownika obrabiarki i tych, którzy są odpowiedzialni za jej konserwację.

Daleko częściej niż przypadkowe zwarcia przewodów, występują przypadkowe przerwy w obwodach. W układach sterowania przekaźnikowego przerwy takie są

zwykle powodowane przez: obluzowanie się przewodu w zacisku, pęknięcie przewodu, zanieczyszczenie styków, przepalenie się uzwojenia wzbudzenia przekaźnika, stycznika lub elektromagnesu. Z uwagi na stosunkowo duże prawdopodobieństwo występowania takich przerw podczas eksploatacji obrabiarki, norma branżowa zaleca załączać napęd przez zamknięcie, wyłączać zaś przez otwarcie odpowiedniego obwodu sterowania. Nieuwzględnienie tego zalecenia może, w przypadku przerwy w obwodzie, spowodować niespodziewane uruchomienie napędu, albo uniemożliwić jego załączenie.

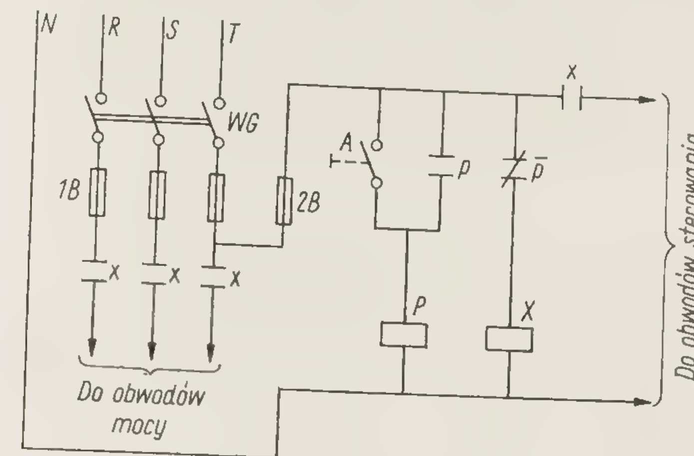
Najczęściej nieuwzględnianie tego zalecenia dotyczy układów sterowania elektrohydraulicznego, wyposażonego w jednocewkowe rozdzielacze hydrauliczne z napędem elektromagnesowym zwrotnym (rozdzielacze hydrauliczne z napędem elektromagnesowym będą w dalszym ciągu nazywane elektrozaworami). Taki elektrozawór wraca do położenia spoczynkowego z chwilą przerwania jego obwodu wzbudzenia. Należy pamiętać, że tego rodzaju wykorzystanie elektrozaworu z napędem zwrotnym, w którym przypadkowe przerwanie jego obwodu wzbudzenia załącza napęd w pewnych okolicznościach niebezpieczny dla obsługującego, albo dla maszyny, jest sprzeczne z postanowieniami normy, chociaż nie wspomina ona wyraźnie o elektrozaworach.

W tych nielicznych przypadkach, gdy istotnie nie można uniknąć obwodów, których zamknięcie powoduje wyłączenie, otwarcie zaś załączenie napędu, projektant układu jest obowiązany przeanalizować stopień ewentualnego niebezpieczeństwa i wybrać rozwiązanie, które zapewnia największe bezpieczeństwo pracy, a jednocześnie zastosować dodatkowe zabezpieczenia na wypadek niesprawności układu. Tak np. bardziej niebezpiecznym jest wypadek, gdy napęd nie zostaje wyłączony mimo przekazania do układu sterowania przez obsługującego obrabiarkę polecenia zatrzymania napędu (mimo np. naciśnięcia przycisku „stop") niż przypadek, gdy np. napęd posuwu nie zatrzymał się w cyklu automatycznym mimo przekazania do układu sygnału „stop" przez odpowiedni łącznik drogowy, zwłaszcza jeżeli w układzie jest przewidziany dodatkowy łącznik awaryjny, wchodzący do akcji, gdy zawiedzie łącznik normalny. Dlatego też należy przyjąć jako zasadę, że omawiane wymaganie normy, polecające zatrzymywać napęd przez otwarcie obwodu sterowania, a załączać — przez zamknięcie obwodu, obowiązuje bezwzględnie w odniesieniu do poleceń, przekazywanych do układu sterowania przez obsługującego obrabiarkę, a więc w odniesieniu do sygnałów wejściowych, pochodzących od elementów obsługi. Tak więc sygnał „stop" musi być przekazywany do układu przez rozwierny zestyk przycisku „stop", a sygnał „start" — przez zwierny zestyk odpowiedniego przycisku.

Na rysunku 42 podano przykład obwodu awaryjnego wyłączania całej instalacji elektrycznej obrabiarki, zastosowanego przez producenta w układzie sterowania ciężkiej obrabiarki. W układzie tym zamknięcie wyłącznika głównego *WG* powoduje załączenie stycznika awaryjnego *X*. W razie wypadku i konieczności natychmiastowego zatrzymania całej maszyny obsługujący naciska przycisk alarmowy *A*, powodując tym załączanie przekaźnika *P*, którego zestyk $\bar{p}$ wyłącza obwód stycznika *X*, a z kolei zestyki *x* tego ostatniego odcinają od sieci zasilającej zarówno obwody mocy, jak i obwody sterowania.

Rozumowanie projektanta w podanym wyżej rozwiązaniu było w zasadzie poprawne: przedstawione rozwiązanie zapewnia — jeśli założymy idealną sprawność wszystkich elementów obwodu przekaźnika *P* — natychmiastowe odcięcie całej instalacji obrabiarki od sieci zasilającej nawet w przypadku krótkotrwałego naciśnięcia przycisku „stop awaryjne". W dodatku po takim wyłączeniu obrabiarki nie można powtórnie jej uruchomić dopóki nie otworzymy wyłącznika *WG* i nie zamkniemy go powtórnie. Konieczność stosowania takiego dodatkowego

manewru w celu uruchomienia maszyny po jej zatrzymaniu awaryjnym jest poważną zaletą, zmusza bowiem obsługę do chwili zastanowienia się. Niestety rozwiązanie według schematu rys. 42 jest nie do przyjęcia, ponieważ nie uwzględnia ono ewentualności powstania przerwy w obwodzie przekaźnika *P*, co automatycznie eliminuje z układu obwód alarmowego wyłączania obrabiarki.



Rys. 42. Przykład niewłaściwego rozwiązania obwodu wyłączania awaryjnego

W celu zapobiegania przypadkom niepożądanych przerw w obwodach sterowania szereg nowo opracowanych norm wyposażenia elektrycznego obrabiarek wprowadza zakaz lutowania końców przewodów giętkich (linek). Zakaz ten został spowodowany faktem, że w miejscu, gdzie zaczyna się warstwa lutu, występuje dość często pękanie przewodu. Ponieważ jednak montowanie układu przy użyciu przewodów giętkich jest znacznie wygodniejsze niż przy stosowaniu drutów, coraz częściej spotyka się końcówki, zakładane i zaciskane na linkach. Wymaga to jednak stosowania specjalnych szczypiec do zaciskania końcówek, w przeciwnym razie ta technika montażu może prowadzić nie do zmniejszenia, lecz do zwiększenia prawdopodobieństwa występowania przerw w obwodach sterowania.

Z problemem występowania przerw w obwodach wiąże się zagadnienie stosowania sprzęgników (połączeń wtykowych). Połączenia takie mogą być dodatkowym źródłem niesprawności układu z uwagi na duże prawdopodobieństwo występowania przerw między wtykiem a jego gniazdem. Dlatego połączenia wtykowe można stosować tylko w przypadku uzasadnionej konieczności np. przewidywanie konieczności okresowych odłączeń i załączeń podzespołów układu sterowania. W przypadku jednak zastosowania sprzęgników obowiązuje norma, nakazująca stosowanie sprzęgników, które w położeniu załączonym można mechanicznie zaryglować.

Praktycznie każdy element układu sterowania może być źródłem jego niesprawności, najczęściej jednak są to wszelkiego rodzaju zestyki i mechanizmy łączników. Z tego powodu układ sterowania będzie się odznaczał tym większą niezawodnością pracy, im mniej elementów będzie wchodziło w jego skład.

Mimo całkowitej słuszności tej tezy w pewnych przypadkach postępuje się przeciwnie, z całą świadomością zwiększając liczbę zestyków w obwodzie właśnie w celu zwiększenia niezawodności układu.

Norma branżowa wymaga na przykład, aby stosować dwa łączniki krańcowe w tych przypadkach, gdy niewyłączenie napędu zgodnie z programem sterowania na skutek niesprawności łącznika drogowego może pociągnąć za sobą poważniejsze niepożądane skutki. W takich jednak przypadkach dodatkowy łącznik

drogowy (tak zwany łącznik awaryjny), którego rozwierny zestyk jest połączony szeregowo z rozwiernym zestykiem łącznika podstawowego, ma swoje odrębne zadanie, nie może więc być uważany jako zbędny element. W normalnej pracy obrabiarki łącznik awaryjny nie bierze nigdy udziału, a więc nie może wpływać na zmniejszenie niezawodności pracy. Dopiero w razie niesprawności łącznika podstawowego wchodzi do pracy łącznik awaryjny, którego zadaniem jest nie tylko powtórzenie sygnału wyłączenia napędu, lecz również wysłanie sygnału odłączenia od sieci zasilającej całego układu sterowania. Zmusza to obsługującego do specjalnej interwencji (np. do ręcznego wycofania suportu), jest więc jednocześnie trudnym do przeoczenia sygnałem informującym o niesprawności jednego z obwodów.

Źródłem niesprawności układu sterowania mogą być obwody pamięci. Najczęściej obwodami pamięci są przekaźniki elektromagnetyczne z wielotaktowymi obwodami wzbudzenia (z podtrzymywaniem wzbudzenia przez własny zestyk zwierny). Pamięć taka zanika jednak przy krótkotrwałym nawet zaniku napięcia w sieci zasilającej. W przypadkach, gdy zanik pamięci może spowodować uszkodzenie obrabiarki, albo stworzyć zagrożenie dla obsługi, należy stosować pamięć trwałą.

Stosowane w obrabiarkach handlowe urządzenia pamięci trwałej można podzielić na trzy grupy:

1. urządzenie, przyjmujące sygnały mechaniczne i wyposażone w pamięć mechaniczną;
2. urządzenie, wyposażone również w pamięć mechaniczną, lecz przyjmujące elektryczne sygnały wejściowe;
3. urządzenia, przyjmujące elektryczne sygnały wejściowe i wyposażone w pamięć magnetyczną.

Do pierwszej grupy należą stabilizowane łączniki drogowe, oraz zespół łącznik drogowy zwrotny i długa listwa zderzakowa. Urządzenia te wyróżniają się spośród pozostałych największym stopniem niezawodności, jednakże nadają się jedynie do zapamiętywania informacji dotyczących położenia. Prócz tego łączniki drogowe z długą listwą zderzakową mają bardzo sztywny program: w przypadku konieczności zmiany punktów przestawiania łącznika, trzeba wymieniać całą listwę. Powyższa wada staje się nieistotna, gdy obrabiarka przez szereg miesięcy, a czasem i lat pracuje w produkcji masowej przy obróbce tych samych detali.

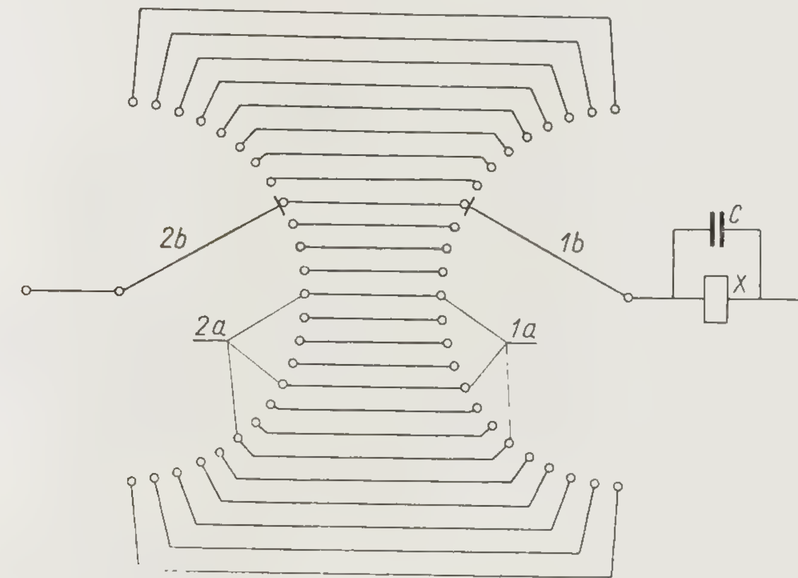
Stabilizowane łączniki drogowe, przystosowane do ich przestawiania przy pomocy dwóch krótkich zderzaków, są niewątpliwie najlepszym technicznie urządzeniem, łączącym w sobie funkcje czujnika położenia i pamięci mechanicznej.

Do drugiej grupy urządzeń należą aparaty typu wybieraków telefonicznych. W porównaniu z urządzeniami pierwszej grupy ich zaletą jest to, że przyjmują sygnały wejściowe elektryczne, mogą więc zapamiętywać dowolne informacje, nie tylko informacje dotyczące położenia.

Najbardziej charakterystyczną cechą wybieraków jest kierowanie przez nie kolejnych sygnałów wejściowych, przychodzących do wybieraka jednym kanałem, do różnych kanałów wyjściowych. Dzięki temu wybieraki są przede wszystkim wykorzystywane w układach sterowania sekwencyjnego, w których treść informacji przekazywanej do układu sterowania przez sygnał wejściowy, zależy od numeru porządkowego tego sygnału w danym cyklu pracy. W układach sterowania obrabiarek najbardziej celowym jest stosowanie wybieraków dziesięcio, lub jedenasto-pozycyjnych, przeznaczonych specjalnie do automatyki maszynowej. Wybieraki takie mają znacznie mniejsze wymiary zewnętrzne niż wybieraki telefoniczne. Niejednokrotnie też jest wygodnie stosować wybieraki, w których

przestawienie zespołu styków ruchomych (tak zwanych szczotek) następuje pod wpływem wzbudzenia elektromagnesu, a nie pod wpływem sprężyny w momencie przerwania obwodu wzbudzenia jak w wybierakach telefonicznych.

Wybieraki wykazują nieco mniejszą niezawodność pracy, niż łączniki drogowe. Jeśli jednak w konkretnym układzie sprawa niezawodności jest wyjątkowo ważna, to można stosować po dwa wybieraki oraz przekaźnikowy obwód kontroli poprawnej pracy, przekazujący do układu sterowania sygnał wyjściowy wybieraków jedynie wtedy, gdy oba znajdują się w tym samym położeniu. Obwód wzbudzenia takiego przekaźnika kontrolnego może mieć na przykład postać taką, jak na rys. 43.



Rys. 43. Wykorzystanie dwóch wybieraków w celu zwiększenia niezawodności pracy

Z urządzeń trzeciej grupy są stosowane w układach sterowania obrabiarek albo odpowiednio uzwojone rdzenie ferrytowe, albo też styczniki remanencyjne. Rdzenie ferrytowe, rejestrujące sygnały przez przejście do stanu nasycenia lub rozmagnesowania, są w obrabiarkach wykorzystywane prawie wyłącznie przy układach sterowania liczbowego, wykraczają więc poza ramy niniejszej pracy.

Styczniki remanencyjne zostały omówione w poprzednim rozdziale. Wyjaśnienie, podane przy omawianiu celowości zasady wyłączania napędu przez przerwanie odpowiedniego obwodu sterowania, tłumaczy jednocześnie, dlaczego przy opisie styczników remanencyjnych wyłączanie stycznika przez zamknięcie obwodu jego cewki demagnetyzującej potraktowaliśmy jako wadę.

Przyczyną niesystematycznych niesprawności układu sterowania bywa niejednokrotnie stosowanie zbyt krótkich zderzaków.

Przy atakowaniu łącznika drogowego zwrotnego przez krótki zderzak podczas posuwu szybkiego może się zdarzyć, że czas przestawienia łącznika w położenie wymuszone jest tego samego rzędu, co czas załączenia, czy wyłączenia przekaźnika lub stycznika. Grozi to występowaniem przypadkowych, sporadycznych niesprawności, polegających na tym, że sygnał łącznika drogowego może nie zdążyć zostać przetworzony w układzie sterowania.

Przeciętny czas załączania i wyłączania przekaźnika i stycznika niedużej mocy wynosi 10 do 15 milisekund. Uwzględniając rozrzut tych wartości, powiększony jeszcze nieuniknionymi wahaniami napięcia zasilającego, należy przyjąć, że czas przestawienia łącznika nie powinien być krótszy od 0,05 sekundy w przypadku, gdy sygnał łącznika jest przetwarzany przez jeden tylko przekaźnik. Jeżeli zaś przetwarzanie sygnału przebiega kaskadowo, nie należy dopuszczać czasów krótszych od 0,1 sekundy.

Rozdział czwarty

Zasady projektowania układów sterowania. Projektowanie intuicyjne

1. Prace przygotowawcze

Omówione w poprzednim rozdziale zalecenia i wymagania, odnoszące się do układów sterowania elektrycznego obrabiarek, dotyczyły zagadnień bezpieczeństwa obsługi maszyny oraz niezawodności jej pracy. Są to zagadnienia dotyczące technicznej sprawności układu sterowania, bez której obrabiarka nie może być oddana do eksploatacji.

Najwyższa jednak sprawność techniczna nie zapewnia jeszcze funkcjonalności układu, pod którym to pojęciem rozumie się nie tylko prostotę i wygodę obsługi oraz zdolność układu do sterowania procesami obróbki, dla jakich dana obrabiarka jest przeznaczona, lecz w ogóle zdolność wydobycia z maszyn wszystkich jej możliwości technicznych. W przeciwieństwie do zagadnień sprawności, rozwiązań technicznych nie można ująć w takie czy inne przepisy, które zapewniałyby układowi dobry stopień funkcjonalności.

Układ sterowania może być tylko wtedy w pełni funkcjonalny, jeśli jego projektant zna dobrze przeznaczenie maszyny, która ma być w ten układ wyposażona, jej konstrukcję i technikę obsługi. Dlatego też najbardziej funkcjonalne rozwiązania układu sterowania powstają wtedy, gdy został on zaprojektowany przez konstruktora obrabiarki, albo przez specjalistę, ściśle współpracującego z konstruktorem.

Błędne jest mniemanie, że można zaprojektować dobry układ jedynie na podstawie szczegółowych wymagań, przekazanych projektującemu układ przez konstruktora obrabiarki. Przede wszystkim taki rozdział zakresu pracy sprowadza zwykle projektanta układu do roli pracownika pomocniczego, zmuszonego spełniać życzenia konstruktora, który z kolei uważa je za słuszne, jeśli tylko dają się technicznie zrealizować. Powtóre tego rodzaju „współpraca" utrwala niejednokrotnie w konstruktorze obrabiarki słuszne z zasady, lecz łatwo podlegające wypaczeniu przekonanie, że układ sterowania powinien być dostosowany do obrabiarki, a nie obrabiarka do układu. Ten sam konstruktor, który nie zawaha się przerobić projektu wrzeciennika, bo nie może w nim zmieścić sprzęgła takiego typu, jaki on uważa za najbardziej wskazany dla swej maszyny, odrzucą słuszne nieraz sugestie projektującego układ sterowania i zmusza go do rozwiązań technicznie gorszych dlatego tylko, że nie może w obrabiarce zmieścić proponowanego elementu sterowania.

Trzeba pamiętać, że po wykonaniu obrabiarki jej układ sterowania nie stanowi odrębnego organizmu, lecz tworzy wraz z nią jedną nierozłączną całość, wtedy tylko stojącą na wysokim poziomie technicznym, gdy oba te zespoły były projektowane równolegle i wymagania każdego z nich były uwzględniane przy projektowaniu drugiego zespołu.

Następnym warunkiem, niezbędnym do dobrego opracowania układu sterowania obrabiarki, poza dobrą znajomością samej maszyny, jest staranne, przejrzyste i logiczne uporządkowanie wszystkich członów składających się na założony program sterowania. Chociaż może to wyglądać na paradoks, zwykle takie przygotowanie danych i opracowanie programów jest najłatwiejsze w przypadku obrabiarek o wysokim stopniu automatyzacji, a więc wymagających nieraz bardzo rozbudowanego układu sterowania. W takich bowiem obrabiarkach, z reguły typu produkcyjnego, czy nawet jednocelowych, cykl przebiega często według jednego tylko, ściśle określonego programu. Obrabiarki uniwersalne, chociaż zwykle automatyzowane w znacznie węższym zakresie, przedstawiają na ogół ogromną różnorodność programów pracy, których uporządkowanie i zestawienie w sposób zapewniający przejrzystość, a jednocześnie utrzymanie i wyzyskanie wszystkich możliwości technicznych takiej maszyny, nie jest łatwe. Najtrudniejsze jest uporządkowanie programów sterowania w przypadku, gdy ich różnorodność spotyka się z wysokim stopniem automatyzacji, jak to ma miejsce przy projektowaniu układów programowego sterowania sekwencyjnego obrabiarek uniwersalnych. Technika takiego sterowania jest w zasadzie prosta, nietrudne jest również sporządzenie projektu technicznego — najtrudniejsze są natomiast prace przygotowawcze do projektu wstępnego włącznie.

Omawiany etap prac przygotowawczych, polegający głównie na starannym zebraniu i przejrzystym uporządkowaniu szczegółowych założeń do projektu ma na celu nie tylko zgromadzenie w łatwo dostępnej formie materiału niezbędnego do opracowania projektu, lecz powoduje również, że w miarę prac nad projektem wstępnym jego twórca mimo woli opanowuje pamięciowo szczegóły wszystkich programów sterowania, które układ powinien realizować. To pamięciowe opanowanie programów jest równie ważne, jak gruntowna znajomość przeznaczenia, możliwości eksploatacyjnych i konstrukcji mechanizmów napędowych obrabiarki, dla której jest przeznaczony opracowywany układ.

W przypadku, gdy obrabiarka wyposażona jest w sterowany elektrycznie hydrauliczny układ napędowy, do wspomnianych wyżej materiałów, które projektant powinien przygotować przed rozpoczęciem właściwego projektowania, należy narysowanie schematu obwodowego hydraulicznego układu sterowania i napędu. Schemat taki powinien być potraktowany tak, jak obwodowy schemat układu elektrycznego, a więc przy położeniu głównego nacisku na jego czytelność i przejrzystość.

Opanowanie tych wszystkich informacji wstępnych polega w dużej mierze na rejestrowaniu w komórkach naszej pamięci ich symbolicznych odwzorowań i zakodowanych postaci, a więc szkiców, symboli graficznych i oznaczeń. Wynika stąd duże znaczenie wyrobienia sobie odpowiedniej metody notowania informacji technicznych, łącznie z systemem oznaczeń literowych, cyfrowo-literowych, czy innych. Dlatego też najlepszą metodą będzie zawsze ta, którą w szczegółach dopracuje sobie sam projektant.

2. Projektowanie intuicyjne

Projektowanie układu sterowania, prowadzone bez pomocy wzorów logiki matematycznej i jej systemu notacji oraz bez pomocy metod opracowanych na podstawie twierdzeń logiki matematycznej, nosi nazwę projektowania intuicyjnego. Mimo swej, niezbyt szczęśliwie dobranej nazwy projektowanie intuicyjne jest bardzo ważną, podstawową umiejętnością, bez której nie sposób opracować dobrego układu sterowania, nawet przy gruntownej znajomości matematycznych metod syntezy (projektowania układów). Metody matematyczne pozwalają prawidłowo opracować poszczególne obwody układu, ale właściwe uporządkowanie założeń do projektu pełnego układu oraz ustalenie roli i zadań

poszczególnych obwodów wymaga od projektanta — zwłaszcza w przypadku bardziej złożonych układów — dużej umiejętności logicznego rozumowania analitycznego i syntetycznego.

Poniżej zostaną rozpatrzone trzy przykłady projektowania intuicyjnego. Położono w nich główny nacisk na tok logicznego rozumowania, towarzyszący projektowaniu intuicyjnemu.

P r z y k ł a d 1. Przykład dotyczy jednego z zagadnień, występujących przy sterowaniu napędu w agregatach i liniach automatycznych. Jak wiadomo, automatyczny cykl pracy przy takich zastosowaniach obrabiarek rozpoczyna się zwykle od uruchomienia napędu transportera (stołu obrotowego w przypadku agregatów), po zatrzymaniu którego zostaje przekazany sygnał uruchomienia napędu posuwu jednostek obróbczych. Rozpoczęcie cyklu automatycznego może nastąpić jedynie wtedy, gdy wszystkie jednostki znajdują się w położeniach wyjściowych, co jest sygnalizowane przestawieniem w położenie wymuszone łączników krańcowych położenia wyjściowego wszystkich jednostek. Uruchomienie zaś napędu posuwu jednostek może nastąpić dopiero po zatrzymaniu i zapilotowaniu transportera.

Po tych wyjaśnieniach wstępnych podajemy treść przykładu 1: Zaprojektować układ sterujący napędem transportera i przekazujący we właściwym momencie sygnał startu do jednostek obróbczych.

Pozostawiając na razie na uboczu sprawę blokad, w opisanym zagadnieniu można wyodrębnić dwie podstawowe funkcje sterowania:

a) Sterowanie napędu transportera, wyłączanego przez przestawienie odpowiedniego łącznika drogowego (łącznik ten oznaczono literą *W*) w położenie wymuszone, po czym łącznik *W* pozostaje w tym stanie, powracając do położenia spoczynkowego dopiero w chwilę po powtórnym uruchomieniu transportera. Jeśli więc stan wymuszony łącznika *W* potraktuje się jako sygnał „stop", to charakterystyczną cechą omawianego obwodu sterowania będzie występowanie sygnału „stop" przy uruchamianiu napędu.

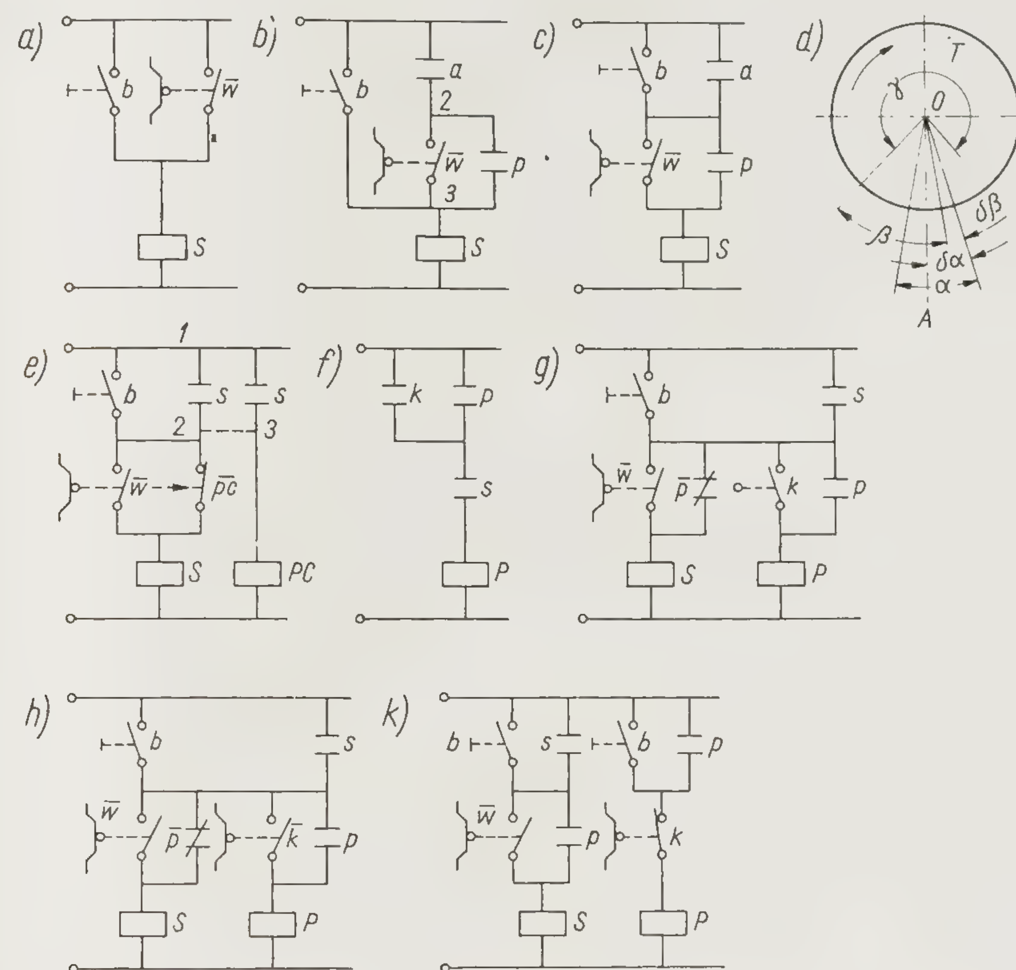
b) Z chwilą wyłączenia napędu transportera układ powinien wytworzyć krótkotrwały sygnał uruchomienia szybkiego posuwu jednostek obróbczych. Sygnał ten nie może trwać dłużej niż najkrótszy okres czasu, potrzebny na dojście do pozycji roboczej pierwszej z jednostek, a więc na wyłączenie jej szybkiego posuwu; w przeciwnym razie wystąpią trudności z wyłączeniem tego posuwu.

Przy projektowaniu obwodu, odpowiadającego warunkom określonym w punkcie a) intuicja podsuwa najpierw proste rozwiązanie, przedstawione na rys. 44a, w którym stycznik *S* swymi zestykami zwiernymi załącza (nie pokazany na schemacie) silnik napędu transportera. Obwód taki posiada jednak poważną wadę z punktu widzenia obsługi, wymaga przetrzymania przycisku *B* w stanie naciśniętym do chwili, gdy po uruchomieniu napędu transportera oddalający się zderzak pozwoli łącznikowi *W* wrócić do stanu spoczynkowego i zamknąć zestyk rozwierny $\bar{w}$. Zastanawiając się nad możliwością usunięcia tej wady można dojść łatwo do wniosku, że obwód stycznika *S* powinien mieć strukturę przedstawioną na rys. 44b. Z zestykiem $\bar{w}$ należy połączyć równolegle zestyk *p*, który powinien być zamknięty w początkowym okresie włączenia napędu transportera, otwarty zaś pod koniec tego okresu. Zadaniem zaś zestyku *a* jest podtrzymanie zasilania cewki stycznika *S* po zwolnieniu przycisku *B*. Nie ulega wątpliwości, że jako zestyk *a* należy wykorzystać zestyk zwierny *S*.

Jeżeli znajdzie się sposób zaprojektowania obwodu wzbudzenia przekaźnika *P*, odpowiadający podanym wyżej wymaganiom, to obwód przedstawiony na rys. 44b będzie szukanym obwodem wzbudzenia stycznika *S*. Strukturę tego obwodu można jeszcze ulepszyć (rys. 44c). Zaletą tego ostatniego wariantu jest to, że

pod koniec pracy transportera jego napęd zostanie wyłączony przez łącznik *W* nawet w przypadku, gdy przetrzyma się przycisk *B* w stanie naciśniętym.

Okres otwarcia i zamknięcia zestyku *p* można ustalić posługując się diagramem przedstawionym na rys. 44d. Linia *OA* na diagramie wyznacza położenie łącznika *W* w stosunku do wyjściowej pozycji zderzaka, umieszczonego na tarczy zderzakowej *T*, której obrót jest związany z napędem transportera. Obrót tarczy *T*



Rys. 44. Kolejne etapy intuicyjnego projektowania obwodu sterowania napędu transportera w obrabiarce zespołowej

odbywa się w zwrocie wskazówek zegara, jak to wskazuje strzałka. Łącznik *W* jest w stanie wymuszonym, gdy zderzak znajduje się wewnątrz kąta α. Kat $\delta\alpha$ jest kątem hamowania napędu, odniesionym do tarczy zderzakowej. Zestyk *p* powinien pozostawać zamknięty w obrębie kąta β, aby przy uruchamianiu napędu, gdy zestyk $\bar{w}$ jest otwarty, nie było przerwy między przewodami *2* i *3* (rys. 44b). W momencie jednak otwierania zestyku $\bar{w}$, pod koniec obrotu tarczy, zestyk *p* musi być otwarty, z czego wynika, że kąt $\delta\beta$, powinien spełniać warunek: $0 < < \delta\beta < \delta\alpha$. Warunek ten uniemożliwia wykorzystanie jako zestyku *p* zestyku łącznika drogowego, sterowanego przez tarczę *T*. Należy więc przyjąć jako zestyk *p* zestyk przekaźnika pomocniczego, którego obwód byłby przerywany na skutek wyłączenia stycznika *S*, a więc przez zestyk zwierny *s*. Wtedy oczywiście dla zachowania warunku, zamknięcia zestyku *p* w obrębie kąta β, zestyk *p* musi być zestykiem rozwiernym owego przekaźnika pomocniczego.

Powyższe rozumowanie prowadzi do rozwiązania, podanego na rys. 44e, w którym zastosowano przekaźnik pomocniczy czasowy *PC*, załączany i wyłą-

czany zestykiem s. Zwłoka przy otwieraniu zestyku $\bar{p}\bar{c}$ powinna być tak dobrana, aby z uwzględnieniem możliwych błędów odmierzania czasu — zestyk ten otwierał się dopiero po zamknięciu zestyku $\bar{w}$. W omawianym schemacie można zaoszczędzić jeden zestyk s, łącząc przewód *2* z przewodem *3*, jak pokazano linią przerywaną.

Należy zastanowić się teraz nad możliwością zastąpienia przekaźnika czasowego zwykłym przekaźnikiem elektromagnetycznym odznaczającym się większą trwałością i tańszym. Przekaźnik taki powinien być załączany sygnałem łącznika drogowego K po powrocie łącznika W do położenia spoczynkowego. Uwzględniając poprzednie uwagi dotyczące wyłączania przekaźnika pomocniczego, otrzyma się układ strukturalny obwodu cewki przekaźnika P, przedstawiony na rys. 44f. W zależności od tego, czy zastosowano zwierny, czy rozwierny zestyk łącznika K, otrzyma się ostateczne rozwiązanie układu albo według rysunku 44g, albo 44h.

Ponieważ w układach z przekaźnikiem P zastosowano podtrzymywanie jego zasilania, okres zamknięcia zestyku k może być krótkotrwały, w każdym razie mierzony kątem obrotu tarczy T powinien być zawarty wewnątrz kąta γ (rys. 44d).

W rozwiązaniu według rys. 44g w położeniu wyjściowym napędu łącznik drogowy K będzie znajdował się w stanie swobodnym. Na odwrót w rozwiązaniu według 44h ten sam łącznik w położeniu wyjściowym obrabiarki musi pozostać w stanie wymuszonym. Natomiast bez względu na wybrany wariant obwodu sterowania napędu transportera łącznik W zostaje przedstawiony w położenie wymuszone z chwilą zakończenia wszystkich czynności, związanych ze sterowaniem napędu, a powraca do położenia spoczynkowego wkrótce po uruchomieniu napędu. W omawianym przypadku ostatnią czynnością, kończącą napęd transportera jest zapilotowanie transportera w położeniu końcowym, odpowiadającym położeniu obróbki. Pierwszą zaś czynnością przy uruchamianiu transportera jest jego odpilotowanie. Z tego powodu zwykle wiąże się stan łącznika W ze stanem zapilotowania transportera, chyba, że napęd obejmuje również zaciskanie transportera, która to czynność następuje po zapilotowaniu.

Należy jeszcze zwrócić uwagę, że w wariancie przedstawionym na rys. 44h wystarczy, jeśli po uruchomieniu napędu łącznik K będzie wracał do stanu spoczynkowego zaraz po łączniku W, a pod koniec napędu będzie nieco wcześniej przestawiany w położenie wymuszone, niż łącznik W. Pozwala to na zastosowanie podwójnego mikrołącznika (rys. 38) pełniącego rolę łączników W i K.

Ponieważ przestawienie łącznika W w położenie wymuszone następuje po zakończeniu ostatniej czynności związanej z pracą transportera w cyklu obróbki, przestawienie to wykorzystuje się zwykle jako sygnał startu jednostek obróbczych danego agregatu czy linii automatycznej.

Przed zaprojektowaniem obwodu, przekazującego do jednostek sygnał startu, należy jeszcze zastanowić się nad ujemną stroną rozwiązań, podanych na rysunkach 44f do h. Można stwierdzić, że w przypadku niepożądanego przerwania obwodu przekaźnika P (taką możliwość należy brać pod uwagę) obwody te pozwalają na uruchomienie napędu transportera, nie pozwalają natomiast na jego zatrzymanie, ponieważ wtedy zestyk $\bar{p}$ pozostaje stale zamknięty. Aby uniknąć takiej ewentualności, należałoby zmienić zestyk rozwierny $\bar{p}$, bocznikujący zestyk $\bar{w}$, na zestyk zwierny p. Prowadzi to z kolei do zmiany obwodu wzbudzenia przekaźnika P; powinien on zostać zamknięty przed włączeniem stycznika S, a otwarty po zamknięciu zestyku $\bar{w}$, lecz przed jego powtórnym otwarciem pod koniec napędu. Można to uzyskać, łącząc w obwodzie cewki P szeregowo zestyk $\bar{s}$ i zestyk zwierny łącznika K. Wtedy jednak przekaźnik P byłby załączony przez cały czas, gdy napęd transportera nie pracuje. Należy się więc zdecydować na zastąpienie zestyku $\bar{s}$ drugim zestykiem zwiernym przycisku B (rys. 44k). Łącznik K przy takim rozwiązaniu powinien być przestawiany w położenie wymuszone analogicznie jak w wariancie rys. 44h nieco wcześniej niż łącznik W. Do stanu spoczynkowego łącznik K wraca nieco później niż łącznik W. W dalszym ciągu można więc stosować mikrołącznik podwójny (rys. 38). Jak łatwo zauważyć, w schemacie pokazanym na rys. 44k wystąpienie przypadkowej przerwy w obwodzie przekaźnika P uniemożliwia załączenie transportera, nie grozi więc żadnymi poważnymi konsekwencjami. Nie trzeba się również obawiać niesprawności, spowodowanej ewentualną różnicą w czasie zamknięcia dwóch zestyków b, napęd transportera nie będzie uruchomiony, dopóki oba nie zostaną zamknięte.

Następnie należy zaprojektować obwód, który przekazuje do jednostek sygnał startu po zakończeniu napędu transportera. Zgodnie z poprzednimi uwagami wiadomo, że jako sygnał startu wykorzystuje się sygnał zakończenia wszystkich czynności związanych z napędem, pilotowaniem i zaciskaniem transportera, a więc zwykle jest to przestawienie łącznika W w położenie wymuszone. W tym przypadku nie wystarcza jednak — i to z dwóch powodów — przekazanie do obwodów sterowania jednostkami sygnału przestawienia łącznika W w położenie wymuszone.

Po pierwsze łącznik krańcowy W zostaje przestawiony w położenie wymuszone pod koniec napędu transportera i pozostaje w tym stanie do czasu, gdy po ponownym uruchomieniu transportera zderzak pozwoli łącznikowi W powrócić do stanu spoczynkowego. Trzeba więc tak opracować obwody sterowania, by rozróżniały one, czy sygnał w pojawił się na skutek załączenia całego układu sterowania do sieci zasilającej, czy też na skutek dojścia zderzaka do łącznika W pod koniec pracy transportera.

Po drugie sygnał startu jednostek nie powinien trwać dłużej, niż najkrótszy czas szybkiego dosuwu jednej z jednostek.

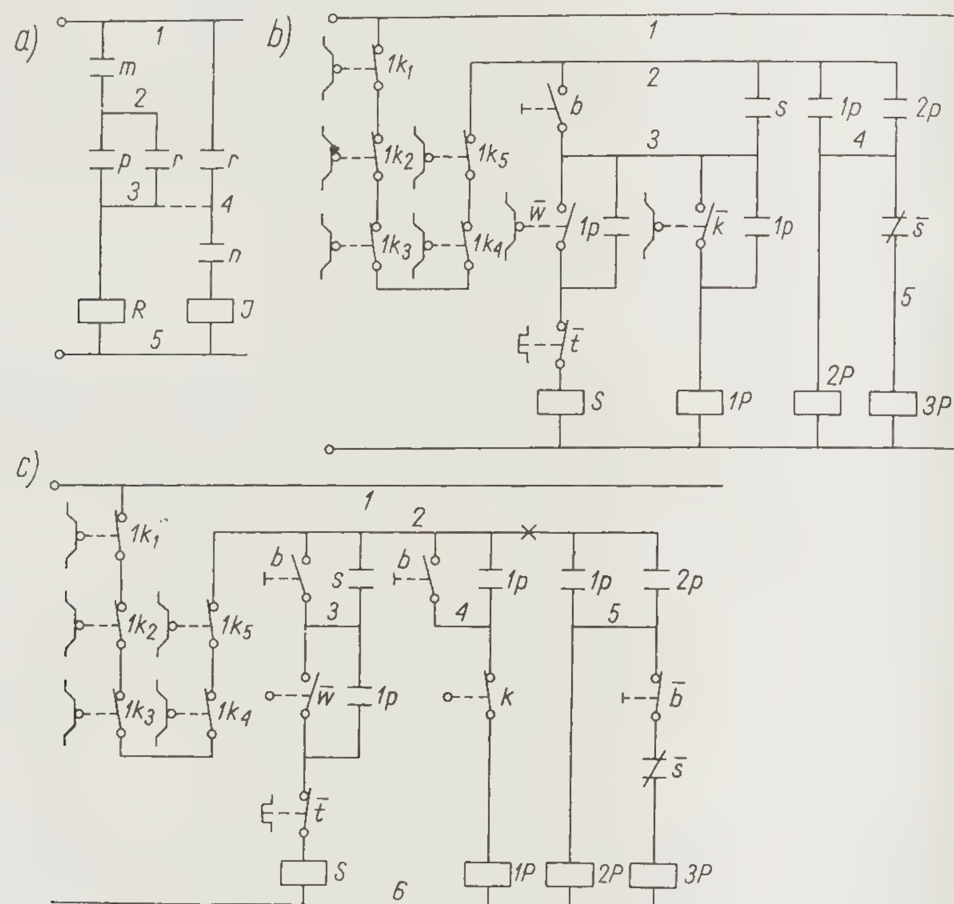
Rozumowanie powyższe prowadzi do wniosku, że w obwodzie wytwarzającym sygnał startu jednostek należy zastosować człon pamięciowy, rejestrujący fakt uruchomienia napędu transportera i pamiętający o tym przynajmniej do momentu przekazania do jednostek i przyjęcia przez nie sygnału startu. Zarejestrowanie w członie pamięciowym wykonania przez transporter czynności, przewidzianych w programie, musi zostać skasowane, zanim którakolwiek z jednostek zakończy swój szybki przesuw.

A zatem w obwodzie wytwarzającym sygnał j startu jednostek w automatycznym cyklu pracy (rys. 45a) musi znajdować się człon pamięciowy R, rejestrujący uruchomienie napędu transportera. Sygnał uruchomienia transportera może być przekazany do obwodu przekaźników R i J albo przez zestyk s, albo przez zestyk p jednego z obwodów, pokazanych na rysunkach 44g, h lub k. Wybrano zestyk p z uwagi na to, że w przekaźniku P jest do dyspozycji więcej wolnych zestyków, niż w styczniku S.

Do skasowania pamięci służy zestyk m (rys. 45a), który powinien być zamknięty w pozycji wyjściowej obrabiarki i pozostawać w tym stanie do czasu uruchomienia pracy jednostek. Przy wyborze zestyku m należy zwrócić uwagę, że w obwodzie sterowania napędu transportera jest wymagana blokada bierna, nie pozwalająca na uruchomienie napędu transportera dopóty, dopóki wszystkie jednostki nie znajdują się na swych pozycjach wyjściowych. Blokadę taką mogą jedynie tworzyć połączone szeregowo zwierne zestyki wszystkich łączników krańcowych $1k_i$ (rys. 45b) (wskaźnik i odpowiada numerowi jednostki), znajdujących się w stanie wymuszonym, gdy odpowiednie jednostki zajmują swe pozycje wyjściowe. Blokada ta zostaje wprowadzona z chwilą, gdy po starcie jednostek którykolwiek łącznik krańcowy $1k_i$ powróci do stanu spoczynkowego. Ponieważ opisany cykl odpowiada warunkom wymaganym do skasowania pamięci w obwodzie startu jed-

nostek, załączenie blokady uruchomienia transportera wykorzystuje się jednocześnie jako wspomniany wyżej sygnał *m*.

Sygnał startu przekażą do poszczególnych jednostek zestyki zwierne przekaźnika *J*, załączanego sygnałem zakończenia napędu transportera (zamknięcie zestyku *n*) w sytuacji, gdy w pamięci *R* jest przechowywana informacja o tym, że przed chwilą transporter znajdował się w ruchu. Wynika z tego, że w obwodzie przekaźnika *J* należy umieścić szeregowo zestyki *r* i *n*. Jako zestyk *n* można wykorzystać rozwierny zestyk $\bar{s}$ stycznika *S*. Trzeba jeszcze zwrócić uwagę, że w obwodzie pokazanym na rys. 45a można wyeliminować zestyk *r*, znajdujący się między przewodami *1* i *4* łącząc przewody *3* i *4* jak zaznaczono linią przerywaną. Na rys. 45b pokazano obwód, który jest wynikiem połączenia obwodów przedstawionych na rys. 44h i 45a w jeden układ sterowania startem automatycznego cyklu pracy agregatu (linii automatycznej). Na tym schemacie wprowadzono jednolite oznaczenia przekaźników: przekaźniki *P*, *R* i *J* z poprzednich schematów zostały oznaczone literami *P* z kolejnymi numerami porządkowymi: *1P*, *2P* i *3P*. Do obwodu wzbudzenia stycznika *S* wprowadzono rozwierny zestyk $\bar{t}$ przekaźnika termicznego.



Rys. 45. Sterowanie transportera i uruchamianie napędu jednostek w obrabiarce zespołowej

Rysując schemat przedstawiony na rys. 45b wykorzystuje się wszelkie możliwości usunięcia z układu zbędnych zestyków. Przede wszystkim stosuje się połączenie pokazane na rys. 45a linią przerywaną. Prócz tego, po stwierdzeniu, że zestyk *m* w obwodzie przekaźnika *R* (oznaczonego na rys. 45b przez *2P*) jest identyczny z blokadą stycznika *S*, złożoną z zestyków $1k_1$ do $1k_5$, zestyki te można włączyć między przewód *1* oraz przewód *2*, od którego prowadzą rozgałęzienia do obwodów wzbudzenia *S* i przekaźników 1*P* do *3P*.

Gdy zamiast obwodu przedstawionego na rys. 44h zastosować obwód przedstawiony na rys. 44k, jako bardziej odpowiadający kryterium niezawodności, to można stwierdzić, że istnieje możliwość załączenia przekaźnika *3P* przed załączeniem stycznika *S*, a wtedy obwodu stycznika *S* w ogóle nie będzie można zamknąć. Takie błędne załączenie przekaźnika *3P* może się zdarzyć zwłaszcza wtedy, gdy zestyk *b* przycisku uruchomienia cyklu, umieszczony w obwodzie przekaźnika *1P* zamyka się przypadkowo nieco wcześniej, niż zestyk *b* w obwodzie stycznika *S*. Aby usunąć ten błąd strukturalny wystarczy zabezpieczyć obwód przekaźnika *3P* przed zamknięciem wcześniejszym, niż załączenie stycznika *S*. Spostrzeżenie to prowadzi do prostego rozwiązania — w obwód przekaźnika *3P* włącza się zestyk rozwierny przycisku *B*. W ten sposób otrzymuje się wariant, którego schemat podano na rysunku 45c.

Układy wykonane według schematów pokazanych na rysunkach 45b i c dałyby możność sterowania jedynie automatycznym cyklem pracy agregatu, podczas gdy ze względów eksploatacyjnych trzeba mieć jeszcze możność sterowania w cyklach półautomatycznych i ustawczych. Uzyskać to można, wprowadzając odpowiednie zestyki przełącznika selekcyjnego do obwodów sterowania w cyklu automatycznym. Dążąc na przykład do uzupełnienia omówionego układu tak, aby poza pracą w cyklu automatycznym można było przez naciśnięcie tego samego przycisku *B* uzyskać albo powtórzenie startu jednostek bez uruchamiania transportera, albo uruchomienie transportera bez automatycznego uruchamiania posuwu jednostek po jego zatrzymaniu, albo wreszcie sterowanie ruchów ustawczych poszczególnych jednostek, należy zastosować przełącznik selekcyjny o tylu położeniach, ile przewiduje się odmian sterowania. W opisanym wyżej przykładzie potrzebny będzie przełącznik czteropołożeniowy. Jeśli natomiast zaliczyć obrót stołu bez następującego po nim uruchomienia posuwu jednostek do ruchów ustawczych i połączyć ten cykl sterowania ze sterowaniem ustawczym jednostek, to wystarczy zastosować przełącznik trójpołożeniowy.

Uzupełniając schemat przedstawiony na rys. 45c przełącznikiem selekcyjnym *N* przyjęto wariant bardziej ogólny, umożliwiający wprowadzenie czterech odmian sterowania, a więc zastosowano przełącznik czteropołożeniowy. Przejście do wariantu z przełącznikiem trójpołożeniowym nie sprawia trudności.

Kolejne położenia przełącznika selekcyjnego oznaczono następująco:
— położenie *1* — praca w cyklu automatycznym;
— położenie *2* — start jednostek bez uruchamiania transportera;
— położenie *3* — sterowanie napędu transportera;
— położenie *4* — sterowanie ustawcze jednostek.

Warunek powtórzenia startu jednostek bez uruchamiania transportera wymaga, aby w położeniu *2* przełącznika obwód stycznika *S* był odcięty od zestyku przycisku *B* i od przewodu zasilającego *2*, natomiast naciśnięcie przycisku *B* powinno spowodować załączenie przekaźnika *3P*. Osiągnąć to można włączając między przewód *2* i obwód cewki stycznika *S* zestyk przełącznika *N*, otwarty w położeniu *2*.

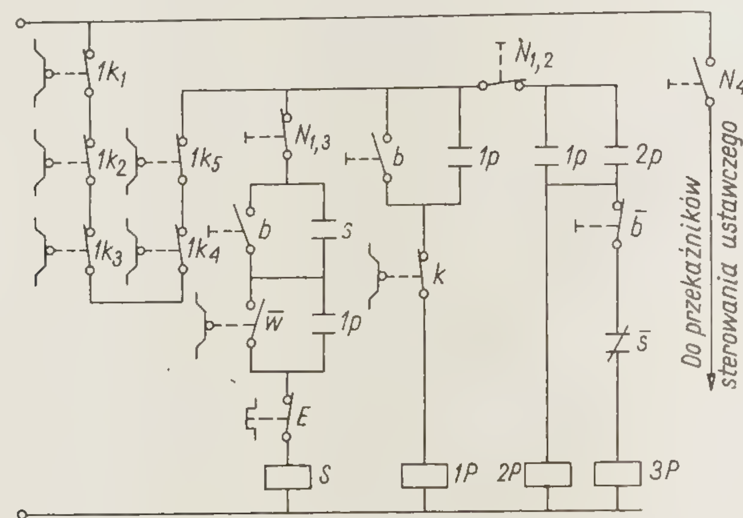
Chcąc uzyskać napęd transportera bez następującego po nim startu jednostek, trzeba przeszkodzić wysłaniu sygnału przez przekaźnik *3P*. Można to osiągnąć włączając w obwód tego przekaźnika zestyk przełącznika *N*, otwarty w jego trzecim położeniu. Lepiej jednak zestyk ten umieścić między przewodem *2* a obwodami przekaźników *2P* i *3P*, w miejscu, oznaczonym krzyżykiem na rys. 45c.

Pozostaje do rozpatrzenia problem sterowania ruchów ustawczych jednostek (położenie *4* przełącznika *N*). Przełączenie na taki rodzaj sterowania wymaga zmian w strukturze obwodów sterowania poszczególnych jednostek i na ogół nie

daje się osiągnąć przy pomocy samych zestyków przełącznika N (chyba, że dotyczy agregatu wyposażonego w dwie, najwyżej w trzy jednostki obróbcze). Przełączenie takie uzyskuje się, załączając odpowiednim zestykiem przełącznika N przekaźnik, lub przekaźniki pomocnicze sterowania ustawczego. Najwygodniej będzie każdej jednostce przyporządkować oddzielny przekaźnik sterowania ustawczego.

Trzeba także ustalić program łączenia zestyków przełącznika N. W opisie i na rys. 46 oznaczono dla wygody zestyki przełącznika selekcyjnego N wskaźnikami cyfrowymi, odpowiadającymi numerowi tego położenia przełącznika, w którym dany zestyk jest zamknięty. Tak na przykład N_2 oznacza zestyk zamknięty w drugim położeniu; $N_{1,3}$ — zamknięty w pierwszym i trzecim. Ten sposób oznaczenia, bardzo wygodny w stadium opracowywania schematu, przestaje być wygodny przy montażu układu i przy sprawdzaniu układu zmontowanego. Dlatego też w fazie końcowej opracowywania dokumentacji przechodzi się do wskaźników jednoliterowych i tabelek z programem łączeń.

Zestyk załączający przekaźniki sterowania ustawczego powinien być zamknięty jedynie w położeniu *4*, wobec czego oznaczono go przez N_4. Zestyk N w obwodzie stycznika S powinien być otwarty w *2* i *4* położeniu przełącznika, a zamknięty — w położeniu *1* i *3*, oznaczono go więc przez $N_{1,3}$. Wreszcie zestyk N, umieszczony w obwodzie przekaźników *2P* i *3P*, powinien być otwarty w położeniach *3* i *4*, a więc zamknięty w położeniach *1* i *2*, oznaczono go zatem przez $N_{1,2}$. Na rys. 46 przedstawiono gotowy schemat opracowanego fragmentu układu sterowania.



Rys. 46. Schemat z rys. 45c uzupełniony przełączaniem układu na pracę w cyklu automatycznym i na sterowanie ręczne

Jeżeli sterowanie napędu transportera bez następującego po nim startu jednostek włączyć do sterowania ustawczego, to czynności przewidziane dla *3* i *4* położenia przełącznika selekcyjnego będą wykonywane w jego *3* położeniu. Na schemacie (rys. 46) spowoduje to jedynie zmianę oznaczenia zestyku N_4 na N_3.

Przykład 2. Zaprojektować układ sterowania zaciskaniem, luzowaniem i przesuwaniem belki suportowej strugarki wzdłużnej. Układ jest wyposażony w dwa silniki indukcyjne zwarte: *1M* — napędzający mechanizm zaciskania i luzowania belki na stojakach strugarki, oraz *2M* — napędzający przesuwanie belki w górę i w dół. Jako organa obsługi przewiduje się dwa przyciski, jeden *1B* uruchamiający podnoszenie belki, drugi *2B* — jej opuszczanie. Naciśnięcie, nawet chwilowe, któregokolwiek z tych przycisków powinno spowodować uruchomienie

napędu luzowania belki, wyłączanego pod koniec luzowania przez naciśnięcie odpowiedniego łącznika krańcowego *1K*. Naciśnięcie przycisku *1B* lub *2B* w czasie zaciskania belki powinno spowodować natychmiastową zmianę zwrotu obrotów silnika *1M*, a więc przerwanie zaciskania i uruchomienie luzowania belki.

Po zluzowaniu belki pozostaje ona w tym stanie przez 20 sekund, licząc od chwili wyłączenia napędu luzowania lub przesuwania belki, po czym powinien załączyć się samoczynnie napęd zaciskania, trwający do naciśnięcia innego łącznika krańcowego *2K*. Przesuwanie belki jest blokowane przez łącznik *1K*, to znaczy może się rozpocząć dopiero po zakończeniu luzowania. Stan zluzowania belki sygnalizuje światło lampki sygnalizacyjnej. Bez względu na to, czy zluzowanie belki nastąpiło na skutek naciśnięcia przycisku *1B*, czy *2B*, po jej zluzowaniu można uruchomić zarówno przesuw w górę (przycisk *1B*), jak i w dół (*2B*). Przesuwanie trwa dopóty, dopóki odpowiedni przycisk pozostaje naciśnięty. Przed przesunięciem belki poza dopuszczalne granice zabezpieczają odpowiednie łączniki krańcowe. W skrajnym górnym położeniu zostaje naciśnięty łącznik krańcowy *3K*, powodujący wyłączenie napędu podnoszenia belki nawet w przypadku, gdy przycisk *1B* pozostaje nadal naciśnięty. Na wypadek niesprawności łącznika krańcowego *3K* przewidziano łącznik awaryjny *5K*, umieszczony powyżej łącznika *3K*, który w przypadku nie zadziałania łącznika *3K* powoduje przerwanie zasilania całego obwodu sterowania belki. Podobnie łącznik krańcowy *4K* ogranicza przesuw belki w dół, a łącznik *6K* jest dla takiego przesuwu łącznikiem awaryjnym. W celu ułatwienia orientowania się w zadaniach poszczególnych łączników krańcowych szkicujemy ich rozmieszczenie (rys. 47a), oznaczając trójkątami zaczernionymi łączniki krańcowe awaryjne, trójkątami zaś nie zaczernionymi łączniki krańcowe zwykłe.

Mając tak sprecyzowane założenia do układu sterowania, można przystąpić do jego projektowania. Projektowanie poszczególnych obwodów będzie prowadzone w takiej kolejności, jaka ma miejsce przy sterowaniu przesuwaniem belki. Wybranie takiej kolejności ułatwi podczas projektowania pamiętanie o warunkach, które musi spełniać projektowany układ. Najpierw jednak ustalimy dla wygody oznaczenia styczników:

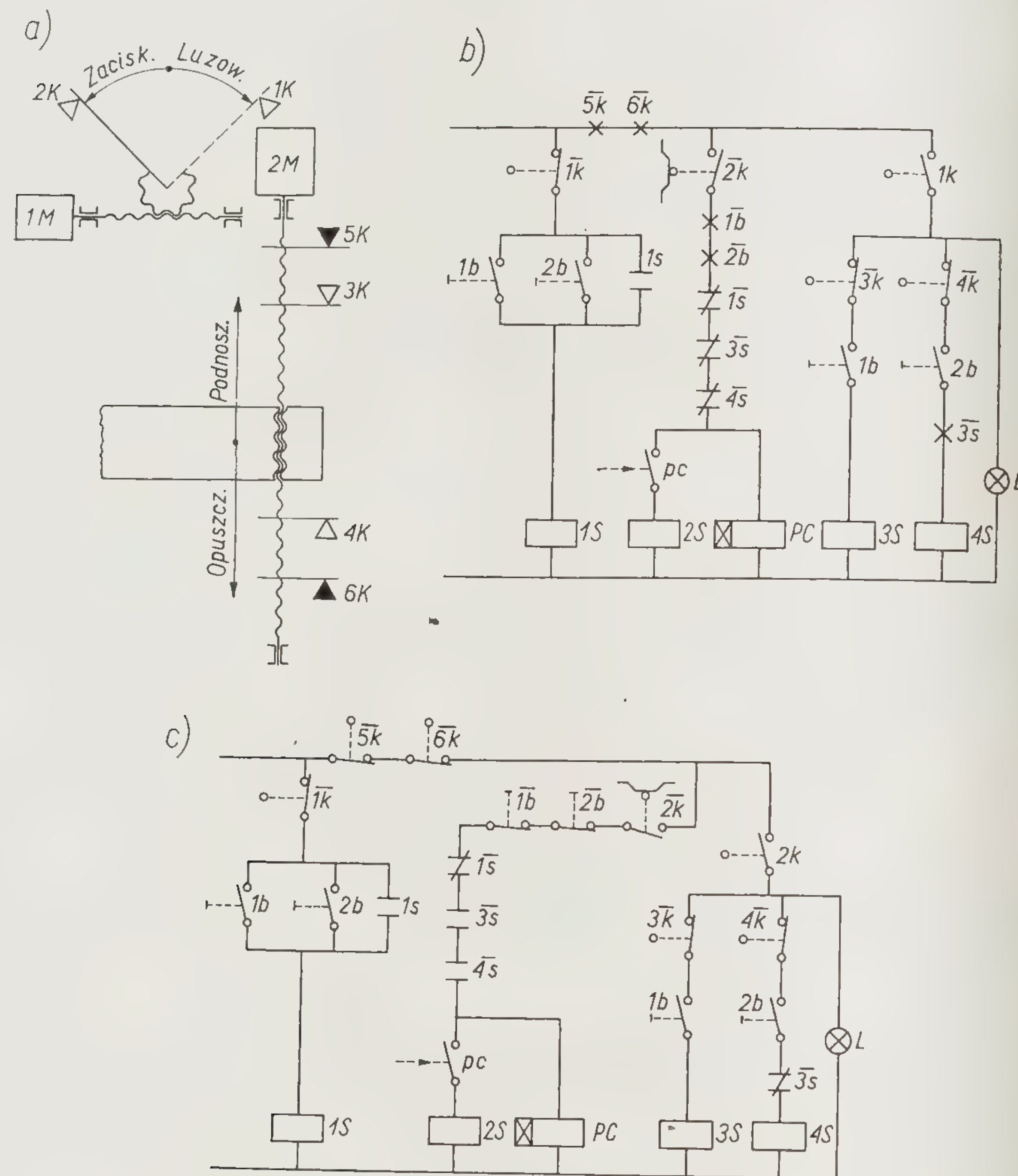
1S — załączanie silnika *1M* w zwrocie, odpowiadającym luzowaniu;
2S — załączanie silnika *1M* w zwrocie, odpowiadającym zaciskaniu;
3S — załączanie silnika *2M* w zwrocie, odpowiadającym podnoszeniu belki;
4S — załączanie silnika *2M* w zwrocie, odpowiadającym opuszczaniu belki.

Postawiony w założeniach warunek, że luzowanie zacisku belki, a więc załączenie stycznika *1S*, następuje z chwilą naciśnięcia przycisku *1B* lub *2B* i trwa — nawet przy krótkotrwałym naciśnięciu — do chwili, gdy zderzak przestawi w położenie wymuszone łącznik drogowy *1K*, wyznacza strukturę obwodu cewki stycznika *1S* (rys. 47b).

Z warunku przesuwania belki w górę i w dół wynika, że we wspólnym obwodzie wzbudzenia styczników *3S* i *4S* musi znajdować się zestyk zwierny *1k* (blokada przesuwania belki przy nie zluzowanym zacisku), a oprócz tego w obwodzie stycznika *3S* należy umieścić szeregowo połączone zestyki *1b* i $\overline{3k}$. Podobnie w obwodzie *4S* należy umieścić połączone szeregowo zestyki *2b* i $\overline{4k}$. Na podstawie tych rozważań można narysować obwody styczników *3S* i *4S*.

Przechodząc do projektowania obwodu stycznika *2S* (załączanie silnika *1M* w zwrocie zaciskania) bierzemy pod uwagę, że stycznik ten można załączyć jedynie wtedy, gdy belka nie jest zaciśnięta (łącznik *2K* jest w położeniu spoczynkowym) oraz gdy nie odbywa się przesuwanie belki ani w górę, ani w dół (styczniki *3S* i *4S* nie są załączone). Wynika stąd, że w obwodzie stycznika *2S* muszą znajdować się połączone szeregowo następujące zestyki: $\overline{2k}$, $\overline{1s}$, $\overline{3s}$, i $\overline{4s}$. Ponie-

waż uruchomienie napędu zaciskania belki powinno rozpoczynać się automatycznie w dwadzieścia sekund po spełnieniu wyżej podanych warunków, to jako sygnał załączenia stycznika *2S* trzeba wykorzystać przestawienie zestyków przekaźnika czasowego (*PC*). Jeżeli zostanie wybrany przekaźnik, który odmierza zwłokę od chwili jego załączenia, trzeba go będzie załączać z chwilą gdy zostaną podane wyżej warunki załączenia stycznika *2S*. Sygnałem załączenia *PC* będzie więc zamknięcie wszystkich czterech zestyków: $\overline{2k}$, $\overline{1s}$, $\overline{3s}$ i $\overline{4s}$. Jeśli zaś wybierzemy przekaźnik, który odmierza zwłokę od chwili otwarcia jego obwodu, to po-



Rys. 47. Schematy sterowania zacisku, luzowania i przesuwu belki suportowej

winno ono nastąpić z chwilą otwarcia ostatniego z czterech zestyków zwiernych: *2k*, *1s*, *3s* i *4s*. Z tych dwóch możliwości należy wybrać oczywiście pierwszą, ponieważ zabezpiecza ona przekaźnik *PC* przed dłuższym trzymaniem go w stanie załączonym oraz ponieważ wariant ten umożliwia wykorzystanie do zamykania i otwierania obwodu *PC* zestawu zestyków: $\overline{2k}$, $\overline{1s}$, $\overline{3s}$ i $\overline{4s}$, już występującego

w obwodzie cewki *2S*. W ten sposób dochodzimy do schematu obwodów *3S* i *PC*, podanych na rys. 47b.

Po narysowaniu wszystkich obwodów przystępujemy do sprawdzenia, czy przetwarzają one prawidłowo, zgodnie z założeniami, sygnały wejściowe na wyjściowe we wszystkich możliwych przypadkach. Przy jednoczesnym naciśnięciu dwóch przycisków *1B* i *2B* zostaną włączone oba styczniki *3S* i *4S*, co spowoduje powstanie zwarcia w obwodzie zasilania silnika *2M*. Wprawdzie jednoczesne naciśnięcie dwóch przycisków nie może być wynikiem pomyłki obsługującego, lecz chyba złej woli, a więc zastosowanie zabezpieczenia przed skutkami takiego manewru nie obowiązuje projektanta układu, to jednak, biorąc pod uwagę z jednej strony przykre skutki (uszkodzenie bezpieczników, a być może i uszkodzenie styków), z drugiej zaś strony prostotę zabezpieczenia, decydujemy się wprowadzić odpowiednią blokadę. Wzajemna blokada negatywna styczników *3S* i *4S* nie stanowi w tym przypadku właściwego zabezpieczenia, ponieważ w razie jednoczesnego naciśnięcia obu przycisków styczniki *3S* i *4S* pracowałyby w tak zwanym układzie dzwonkowym. Należy więc zdecydować się na preferencję jednego ze zwrotów przesuwu belki, aby naciśnięcie dwóch przycisków spowodowało przesuw w wybranym zwrocie. Ponieważ zabezpieczenie dotyczy niewątpliwego błędu obsługi, należy wybrać zwrot podnoszenia belki, nie grożący uszkodzeniem narzędzi. W tym celu wystarczy w obwodzie stycznika *4S* dodać rozwierny zestyk $\overline{3s}$, co na pierwszej wersji schematu oznaczono krzyżykiem.

W dalszym ciągu sprawdzając schemat można stwierdzić, że naciśnięcie przycisku *1B* lub *2B* w czasie, gdy stycznik *2S* jest załączony, spowoduje również załączenie stycznika *1S*, a to z kolei prowadzi do zwarcia w obwodzie zasilania silnika *1M*. Wprawdzie zestyk $\overline{1s}$ w obwodzie stycznika *2S* spowoduje przerwanie jego obwodu wzbudzenia i otwarcie zestyków głównych *2s*, jednakże nastąpi to zbyt późno i nie zabezpieczy przed skutkami zwarcia. Można by dać blokadę negatywną, włączając w obwód stycznika *1S* zestyk $\overline{2s}$. Jednakże rozwiązanie takie nie spełnia założeń, gdyż naciśnięcie któregokolwiek z przycisków przesuwu belki powinno spowodować natychmiastowe wyłączenie zaciskania i załączenie luzowania belki.

Wynika stąd, że w obwodzie stycznika *2S* należy dodać jeszcze zestyki rozwierne $\overline{1b}$ i $\overline{2b}$ przycisków *1B* i *2B*, co znowu zaznaczono odpowiednimi znakami na pierwszej wersji schematu.

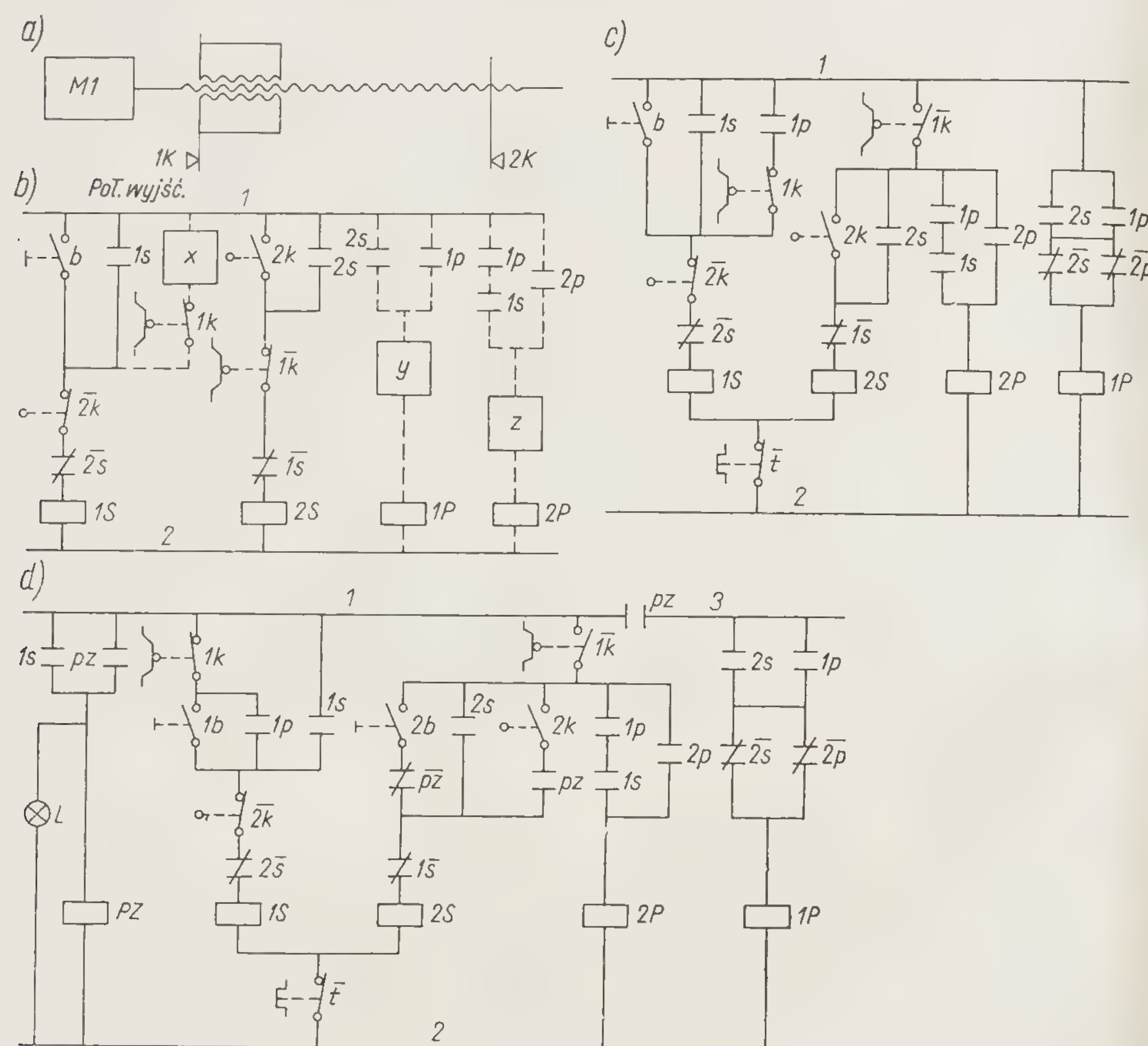
Pozostaje wreszcie problem umieszczenia w obwodzie zestyków krańcowych łączników awaryjnych *5K* i *6K*. Nietrudno dojść do wniosku, że naciśnięcie na łącznik awaryjny nie może odłączyć zasilania stycznika *1S*, ponieważ nie można by było wtedy przesunąć belki suportowej ręcznie i zwolnić nacisku na łącznik awaryjny. Wobec tego zestyki $\overline{5k}$ i $\overline{6k}$ umieszczono poza dopływem zasilania cewki *1S*.

Po wprowadzeniu omówionych uzupełnień do pierwszego wariantu schematu, można narysować schemat w ostatecznej postaci (rys. 47c).

Obecnie opracowany będzie projekt układu bardziej skomplikowanego, zawierającego oddzielne obwody pamięci przekaźnikowej, a charakterystycznego tym, że poprawne rozwiązanie problemu wymaga od projektanta w znacznie większym stopniu, niż to miało miejsce w poprzednich przykładach, uporządkowanego toku rozumowania.

Przykład 3. Zaprojektować układ sterowania napędem posuwów suportu obrabiarki. W układzie tym naciśnięcie przycisku B (start cyklu) powinno powodować załączenie posuwu do przodu, trwającego do chwili naciśnięcia przez odpowiedni zderzak łącznika krańcowego *2K*. Przestawienie tego łącznika w położenie wymuszone powinno powodować wyłączenie posuwu do przodu i załą-

czenie cofania suportu obrabiarki. Po wycofaniu suportu do położenia wyjściowego powinien zostać wyłączony posuw do tyłu i samoczynnie załączony ponowny posuw do przodu. Posuw ten, podobnie jak poprzednio, powinien zostać wyłączony z chwilą naciśnięcia łącznika krańcowego *2K*, który powoduje ponowne załączenie wycofywania. Po drugim wycofaniu nie następuje jednak załączenie po raz trzeci posuwu do przodu, lecz suport zatrzymuje się w położeniu wyjściowym i cały układ powraca do sytuacji, jaka była przed uruchomieniem cyklu (rys. 48a).



Rys. 48. Kolejne etapy projektowania układu napędu posuwów w automatycznym cyklu podwójnym

Uwagi i wyjaśnienia uzupełniające. Definiując i rozwiązując powyższy problem pominięto inne zadania układu sterującego, narzucone przez konstrukcję obrabiarki i technologię danej obróbki, jak na przykład ewentualne przełączanie z szybkiego dosuwu na posuw roboczy, obrót głowicy rewolwerowej pod koniec wycofywania itp. Uwzględnienie tych wymagań nie wpływa na przebieg projektowania układu, spełniającego warunki postawione w zredagowanym wyżej problemie (sterowanie posuwu w cyklu podwójnym) i może być przeprowadzone w następnym etapie projektowania przez dodanie obwodów uzupełniających.

Dla uproszczenia zakłada się, że zastosowano styczniki pozwalające na bezpośrednie przełączanie zwrotu wirowania silnika bez obawy o powstawanie zwarć łukowych. Stycznik, załączający napęd do przodu, oznaczono przez *1S*; stycznik załączający ten sam silnik *M* w zwrocie odpowiadającym wycofaniu suportu — przez *2S*. Łącznik krańcowy, który w wyjściowym położeniu obrabiarki znajduje się w stanie wymuszonym oznaczono *1K* (jest to ten sam łącznik, który powoduje wyłączenie napędu cofania).

Charakterystyczną cechą projektowanego układu, jest to, że zapewnia on samoczynne dwukrotne powtórzenie cyklu posuwów suportu. Gdyby zrezygnować z tego podstawowego warunku, rozwiązanie stanowiłby powszechnie stosowany schemat, przedstawiony na rys. 48b liniami ciągłymi. Taki właśnie prosty układ przyjęto jako wyjściowy do projektowania układu odpowiadającego wymaganiom określonym w założeniach, uzupełniając schemat początkowy w dodatkowe obwody, do których dochodzi się drogą rozumowania logicznego.

Ponieważ po pierwszym wycofaniu posuw powinien powtórnie samoczynnie ruszyć do przodu, odpowiedni sygnał musi spowodować załączenie stycznika *1S* w wyjściowym położeniu sterowanego zespołu obrabiarki. Sygnałem takim może być jedynie przestawienie łącznika *1K* w położenie wymuszone, jeśli oczywiście nie wprowadza się do układu dodatkowego elementu sterowania. Ten sam sygnał nie powinien jednak załączać stycznika *1S* ani po drugim wycofaniu suportu, ani przed naciśnięciem przycisku *B*, a więc przed rozpoczęciem cyklu na polecenie obsługującego. Wynika z tego, że równolegle do przycisku *B* należy przyłączyć zestyk zwierny *1k*, dodatkowo połączony szeregowo z elementem obwodu *x*, który zostanie zamknięty, zanim łącznik *1K* znajdzie się w stanie wymuszonym po pierwszym wycofaniu suportu do położenia wyjściowego. Na schemacie (rys. 48b) narysowano ten obwód (podobnie jak i dalsze uzupełnienia schematu pierwotnego) liniami przerywanymi.

Obwód *x* musi się jednak otworzyć, zanim pod koniec drugiego cofania zamknie się zestyk *1k*, w przeciwnym bowiem razie posuw do przodu uruchomiony byłby po raz trzeci. Układ sterowania musi zatem posiadać odpowiednią pamięć przekaźnikową, która przekazywałaby informację, czy zamknięcie zestyku *1k* następuje pod koniec pierwszego, czy drugiego z kolei wycofania sterowanego zespołu. Pamięć ta musi również po zakończeniu drugiego wycofania układu zarejestrować powrót do sytuacji wyjściowej. Układ zarejestruje więc trzy różne okresy pracy obrabiarki: spoczynkowy, okres pierwszego wycofania oraz okres drugiego. Maksymalna ilość kombinacji, jakie może zapamiętać pamięć przekaźnikowa, zmontowana przy użyciu n przekaźników, wynosi 2^n, przeto w rozważanym przypadku obwody pamięci muszą zawierać przynajmniej dwa przekaźniki.

Ponieważ ostatnim sygnałem, wytworzonym w układzie przed zakończeniem pierwszego wycofania, jest załączenie stycznika *2S*, sygnał ten można wykorzystać do zamknięcia obwodu pierwszego przekaźnika pamięci *1P*, włączając w jego obwód pomocniczy zestyk zwierny *2s* stycznika *2S*. Nasuwa się zatem myśl, aby jako element obwodu *x* wykorzystać zestyk *1p*, który powinien wtedy spełniać podane wyżej warunki zamykania i otwierania obwodu *x*. Wynika z tego, że obwód przekaźnika *1P* należy przerwać podczas powtórnego posuwu suportu do przodu, albo — najpóźniej — podczas powtórnego cofania. Do tego celu przewidziano umieszczenie w obwodzie wzbudzenia przekaźnika *1P* innego obwodu elementarnego *y*, o nie ustalonej na razie strukturze. Wiadomo jedynie, kiedy obwód *y* powinien być zamknięty (przed załączeniem *1P*), a kiedy otwarty (gdy trzeba przerwać obwód wzbudzenia *1P*). Przed ustaleniem jednak struktury obwodu *y* należy sprawdzić, czy powtórne załączenie posuwu do przodu będzie

przebiegało poprawnie przy założeniu że $x = 1p$. Otóż pod koniec pierwszego wycofania napędzanego zespołu otwarcie zestyku $\overline{1k}$ spowoduje wyłączenie stycznika *2S*, zamknięcie zaś *1k* przy zamkniętym *1p* — załączy stycznik *1S*. Może się jednak zdarzyć, że zanim zamknie się zestyk *1s*, podtrzymujący zasilanie stycznika *1S*, zdąży się już otworzyć zestyk *1p*, ponieważ wyłączenie stycznika *2S* spowoduje przerwanie obwodu *1P*. Ewentualności takiej można uniknąć przez zastosowanie w obwodzie przekaźnika *1P* podtrzymania zasilania przez własny zestyk *1p*.

Przechodząc z kolei do rozważania obwodu elementarnego *y*, widać, że powinien on otworzyć się — jak to już ustalono — po powtórnym rozpoczęciu posuwu do przodu. Trzeba więc zastosować drugi przekaźnik pamięci *2P*, który zarejestruje fakt rozpoczęcia drugiej połowy cyklu pracy obrabiarki. Pierwsza i druga połowa cyklu rozpoczynają się od załączenia stycznika *1S*, przy czym na początku drugiej połowy cyklu jest załączony przekaźnik pamięci *1P*, który nie był jeszcze załączony na początku pierwszej połowy. Wynika stąd, że przekaźnik *2P* należy załączać przez zestyk *1s* połączony szeregowo z zestykiem *1p*. Oba te zestyki trzeba jeszcze zbocznikować zestykiem *2p*, podtrzymującym zasilanie obwodu wzbudzenia przekaźnika pamięci *2P*.

Załączenie przekaźnika *2P* powinno przerwać obwód przekaźnika *1P*. Gdyby wykorzystać w tym celu — jako obwód *y* — zestyk rozwierny $\overline{2p}$, to powstałaby nieokreślona sytuacja: otwarcie zestyku *2p* w obwodzie *y* może spowodować otwarcie się zestyku *1p* w obwodzie wzbudzenia przekaźnika *2P*, zanim jeszcze w tym samym obwodzie zamknie się zestyk *2p*. W takim przypadku przekaźnik *2P* nie spełni swej roli elementu pamięci. Aby uniknąć takiej niepożądanej możliwości przebiegu sterowania należy nieco opóźnić moment otwarcia obwodu *y* w stosunku do momentu otwarcia zestyku $\overline{2p}$. Można to będzie zrealizować łącząc równolegle z zestykiem $\overline{2p}$ w obwodzie *y* zestyk, który otworzy się wyraźnie później, niż zestyk $\overline{2p}$. Otóż $\overline{2p}$ otwiera się przy uruchomieniu powtórnego posuwu do przodu, jeśli więc równolegle z nim zostanie połączony zestyk $\overline{2s}$, to obwód *y* będzie otwarty dopiero w chwili rozpoczęcia powtórnego cofania.

Po zakończeniu drugiego cofania, wszystkie styczniki i przekaźniki muszą powrócić do stanu, w jakim znajdowały się przed uruchomieniem cyklu, a więc ich obwody wzbudzenia muszą zostać przerwane. Odnosi się to również do przekaźnika *2P*, w obwodzie którego przewidziano w tym celu obwód elementarny *z*. Nietrudno dojść do wniosku, że obwód ten powinien zawierać zestyk rozwierny łącznika krańcowego *1K*, otwierający się po dojściu sterowanego zespołu do pozycji wyjściowej.

Po ustaleniu w omówiony powyżej sposób struktury poszczególnych obwodów można narysować pełny układ sterowania (rys. 48c). W pośredniej fazie tego etapu pracy należy jeszcze sprawdzić, czy w obwodzie nie ma zbytecznych, powtarzających się zestyków, zwracając specjalną uwagę na te przypadki, w których zmniejszenie liczby zestyków prowadzi do zmniejszenia liczby aparatów, lub do wyeliminowania aparatów w wykonaniu specjalnym. W rozpatrywanym przykładzie powyższa uwaga ma zastosowanie w odniesieniu do dwóch zestyków rozwiernych łącznika drogowego *1K* (jeden w obwodzie stycznika *2S* i jeden przekaźnika *2P*). Umieszczając te zestyki bezpośrednio od strony przewodu *1* można będzie jeden z zestyków wyeliminować.

Pozostaje jeszcze sprawdzić, czy w przypadku, gdy po zaniku napięcia w sieci zasilającej niespodziewanie pojawi się ono ponownie, nie wystąpią niepożądane sygnały wejściowe. Tego rodzaju sprawdzenie należy przeprowadzać zawsze, ilekroć w układzie znajdują się obwody zasilania łączników elektromagnetycznych,

w których obwodach zasilania występują gałęzie złożone z zestyków łączników drogowych oraz z rozwiernych zestyków innych łączników. W poprzednio omawianych układach takich gałęzi nie było, nie było też więc potrzeby sprawdzanie zachowania się układu po zaniku i niespodziewanym powrocie napięcia w sieci. W schemacie przedstawionym na rys. 48c istnieje tego rodzaju gałąź w obwodzie wzbudzenia stycznika *2S*; składa się ona z zestyków łączników drogowych $\overline{1k}$ i *2k* oraz z rozwiernego zestyku $\overline{1s}$. Gałąź ta będzie zamknięta, gdy łącznik drogowy *1K* będzie w położeniu spoczynkowym, a łącznik *2K* w położeniu wymuszonym, a więc gdy zabraknie napięcia w sieci zasilającej w momencie, kiedy łącznik *2K* znajduje się w położeniu wymuszonym. Po powrocie napięcia w tej sytuacji zostanie wzbudzony stycznik *2S*, powodując załączenie silnika *M* w zwrocie odpowiadającym wycofaniu suportu. Dodatkowo podczas takiego cofania zostałby załączony przekaźnik pamięci *1P*, w rezultacie więc po wycofaniu suport ruszyłby samoczynnie do przodu i zatrzymałby się dopiero po ponownym cofnięciu. Taka sytuacja może być niebezpieczna dla obsługi, opracowany układ należy więc poprawić.

Jeżeli zaś zanik napięcia w sieci zastanie suport w położeniu pośrednim (co jest zresztą najbardziej prawdopodobne), gdy oba łączniki *1K* i *2K* znajdują się w położeniu spoczynkowym, to nie będzie można suportu wycofać mechanicznie do położenia wyjściowego, aby przygotować obrabiarkę do nowego cyklu pracy. W takiej sytuacji naciśnięcie przycisku *B* spowoduje uruchomienie niepełnego cyklu, dokończenie przerwanego posuwu do przodu, a następnie wycofanie, drugi posuw do przodu i drugie wycofanie.

Powyższe rozważania prowadzą do wniosku, że układ przedstawiony na rys. 48c należy poprawić, celem umożliwienia w razie awarii mechanicznego wycofania suportu na stanowisko wyjściowe. Pożądane będzie również zabezpieczenie układu przed możliwością uruchomienia napędu do przodu, dopóki suport nie znajduje się w położeniu wyjściowym. Nie ulega wątpliwości, że w celu spełnienia tych wymagań trzeba zastosować dodatkowy przekaźnik zanikowy i ewentualnie dodatkowy przycisk.

Ponieważ przekaźnik zanikowy *PZ* (rys. 48d) w rozpatrywanym przypadku powinien zabezpieczyć jedynie przed samoczynnym wycofaniem suportu oraz przed załączeniem przekaźników pamięci, można jednym zestykiem zwiernym tego przekaźnika odciąć od reszty obwodu zestyk *2k*, mogący spowodować niespodziewane załączenie stycznika *2S*, drugim zaś — przekaźnik *1P*. Aby umożliwić wycofanie jednostki przyciskiem *2B* (z uwagi na zastosowanie drugiego przycisku, przycisk uruchomienia cyklu, oznaczony poprzednio literą *B*, oznaczono obecnie przez *1B*), zestyk zwierny tego przycisku włączono równolegle do zestyku *2s*.

Przypadkowe naciśnięcie przycisku *2B* podczas pracy obrabiarki mogłoby wprowadzić poważne zakłócenia w przebiegu cyklu obróbczego. Wysłanie więc przez przycisk *2B* sygnału wycofania należy ograniczyć do przypadku, dla którego został on przewidziany, a mianowicie: wycofanie suportu, gdy przed rozpoczęciem cyklu nie znajduje się on w położeniu wyjściowym. Ograniczenie to uzyska się, łącząc szeregowo z zestykiem *2b* zestyk rozwierny przekaźnika zanikowego ($\overline{pz}$).

Pozostaje jeszcze zaprojektować obwód załączający wzbudzenie przekaźnika zanikowego *PZ*. Można by do tego celu wykorzystać zestyk zwierny łącznika *1K* ale jeden taki zestyk został już wykorzystany w obwodzie wzbudzenia *1S*, trzeba by więc stosować łącznik *1K* w specjalnym wykonaniu, z dwoma zestykami zwiernymi i jednym rozwiernym. W tym przypadku przychodzi nam z pomocą ogólna zasada, według której najlepiej jest przekaźnik zanikowy załączać przez zwierny zestyk tego stycznika, lub przekaźnika, od którego w każdym przypadku

rozpoczyna się uruchomienie obrabiarki. W rozpatrywanym obecnie przykładzie będzie to zestyk zwierny stycznika *1S*, z którym trzeba jeszcze połączyć równolegle zestyk *pz*, podtrzymujący zasilanie przekaźnika zanikowego. Tak dochodzi się wreszcie do końcowej postaci schematu rys. 48d.

Na zakończenie należy sprawdzić, czy zastosowany sposób załączania przekaźnika zanikowego nie spowoduje jakichkolwiek odstępstw od ustalonych założeń, lub nie wprowadzi do układu błędnych sygnałów. Można stwierdzić, że aby załączyć przekaźnik *PZ*, trzeba przez naciśnięcie przycisku *1B* załączyć stycznik *1S*, zawsze załączany na początku cyklu. To jednak możliwe jest jedynie wtedy, gdy łącznik drogowy *1K* znajduje się w położeniu wymuszonym, a więc suport — w położeniu wyjściowym. Jeśli *1K* jest w położeniu spoczynkowym, to trzeba najpierw sprowadzić suport do położenia wyjściowego przez naciśnięcie przycisku *2B*. Z chwilą wycofania suportu do położenia wyjściowego następuje otwarcie zestyku $\overline{1k}$ (wyłączenie cofania) i zamknięcie zestyku *1k*, po czym dopiero można uruchomić cykl przyciskiem *1B*. Z chwilą uruchomienia cyklu zestyk *1s* zamyka obwód przekaźnika *PZ* i cały układ zostaje połączony z siecią zasilającą. Sprawdzenie potwierdziło więc słuszność rozwiązania.

Przy okazji okazuje się, że przyciski *1B* i *2B* można zastąpić dwoma zestykami zwiernymi tego samego przycisku *B*, ponieważ dopóki jest załączony przekaźnik *PZ*, zestyk *2b* jest wyeliminowany z obwodu *2S*, gdy zaś *PZ* jest wyłączony, to albo obwód wzbudzenia *1S*, albo *2S* jest przerwany przez zestyk łącznika drogowego *1K*, a więc i w tym przypadku nie można zamknąć jednocześnie obwodów *1S* i *2S*.

Zarys algebry Boole'a w zastosowaniu do układów sterowania przekaźnikowego

Podstawą wszystkich nowoczesnych metod analizy i syntezy (projektowania) układów sterowania przekaźnikowego jest algebra Boole'a. Pełny jej wykład znajdzie czytelnik w literaturze matematycznej. Zarys algebry *Boole'a* w adaptacji do zastosowań w teorii i technice układów sterowania dwuwartościowego jest zwykle podawany również w opracowaniach poświęconych problematyce tych układów, z tego względu w niniejszej pracy zostaną wyjaśnione jedynie wstępne i podstawowe operacje algebry *Boole'a*, zwanej w omawianym zastosowaniu również algebrą obwodów. Większość związków między funkcjami *Boole'a* przedstawiona będzie w postaci wzorów, podanych bez żadnych dowodów.

1. Działania podstawowe

Występujące w algebrze *Boole'a* działania podstawowe, wyprowadzone z założeń, odpowiadających potrzebom logistyki, a w szczególności tak zwanego rachunku zdań, nie pokrywają się oczywiście z działaniami podstawowymi klasycznej algebry elementarnej. Istnieje jednak bardzo wyraźny związek formalny między dwoma najważniejszymi działaniami rachunku zdań: koniunkcją i alternatywą, a działaniami algebry zwykłej: mnożeniem i dodawaniem. Ponieważ algebra *Boole'a* rozróżnia tylko dwie wartości, oznaczane cyframi 0 i 1, działania koniunkcji i alternatywy będą podobne do działań mnożenia i dodawania algebry zwykłej, jednak w odniesieniu do dwójkowego (binarnego) systemu liczenia. Należy przytem pamiętać, że cyfry 0 i 1 są w algebrze *Boole'a* jedynie symbolami dwóch różnych wartości zmiennej, nie mają więc nic wspólnego z wartościami zera i jedności, reprezentowanymi przez cyfry 0 i 1 w jakimkolwiek systemie liczenia. Z tego powodu można w literaturze spotkać stosowanie — zamiast 0 i 1 — symboli 0 i L. W niniejszej pracy przyjmiemy jednak oznaczenia 0 i 1, jako bardziej rozpowszechnione i wygodniejsze.

Z uwagi na wspomniane podobieństwa formalne okazuje się celowe w technicznych zastosowaniach algebry *Boole'a* (w algebrze obwodów) używać określeń: iloczyn logiczny i suma logiczna, jak również posługiwać się we wzorach i równaniach znakami mnożenia i dodawania, wziętymi z arytmetyki i algebry elementarnej. W przypadkach, gdy nie będzie to prowadziło do dwuznaczności, będziemy nawet opuszczali przymiotnik „logiczny" w określeniach „iloczyn logiczny" i „suma logiczna".

1.1. Koniunkcja (iloczyn logiczny)

Koniunkcją nazywa się w logice zdanie złożone z dwóch członów tak, że jest ono prawdziwe jedynie wtedy, gdy oba jego człony są prawdziwe. Tak na przykład zdanie: „Warszawa jest stolicą Polski, a Paryż jest stolicą Francji"

jest prawdziwe, ponieważ oba zawarte w nim stwierdzenia (oba jego człony) są prawdziwe. Wystarczy jednak, by jeden z dwóch członów koniunkcji (albo oba) był fałszywy, aby całe zdanie było również fałszywe. Na przykład zdanie: „Warszawa jest stolicą Polski, a Paryż jest stolicą Belgii" jest fałszywe, ponieważ drugi jego człon jest fałszywy. Charakterystyczną cechą koniunkcji jest połączenie jej członów spójnikiem „i" lub „a". Ponieważ w wielu językach nie rozróżnia się tych spójników (po angielsku — and, po francusku — et, po niemiecku — und itd.), spotykamy często w logice matematycznej i jej zastosowaniach technicznych określanie koniunkcji (iloczynu logicznego) jako związku „i". Dla informacji podamy, że w logice przyjęto części zdania, określane powyżej jako człony, również nazywać zdaniami.

Jeżeli wybierając między dwoma oznaczeniami 0 i 1 przyjąć dla oznaczenia prawdziwości zdania znak 1, a dla oznaczenia, że zdanie jest fałszywe znak 0, związek zaś między członami koniunkcji oznaczyć symbolem $\wedge$, to podane wyżej stwierdzenie o prawdziwości zdania złożonego w zależności od prawdziwości jego członów można zanotować jako

$$1 \wedge 1 = 1; \quad 1 \wedge 0 = 0; \quad 0 \wedge 1 = 0; \quad 0 \wedge 0 = 0 \qquad \text{(1a)}$$

Te cztery przypadki obejmują wszystkie możliwości w koniunkcji dwóch członów zdania: albo oba są prawdziwe ($1 \wedge 1 = 1$); albo pierwszy jest prawdziwy, a drugi fałszywy ($1 \wedge 0 = 0$); albo pierwszy jest fałszywy, a drugi prawdziwy ($0 \wedge 1 = 0$), albo wreszcie oba są fałszywe ($0 \wedge 0 = 0$). Nietrudno zauważyć, że jeśli zastąpić znak koniunkcji ($\wedge$) znakiem mnożenia ($\times$ lub $\cdot$), to podane wyżej cztery możliwe przypadki koniunkcji będą identyczne z tabliczką mnożenia w systemie dwójkowym

$$1 \cdot 1 = 1; \quad 1 \cdot 0 = 0; \quad 0 \cdot 1 = 0; \quad 0 \cdot 0 = 0 \qquad \text{(1b)}$$

W zastosowaniach technicznych przyjęto nazywać koniunkcję iloczynem i zamiast znaku koniunkcji stosować algebraiczny lub arytmetyczny znak mnożenia. U niektórych autorów spotyka się jednak również klasyczną terminologię i symbole logiki matematycznej.

Przechodząc od podanej we wzorach (1a) notacji arytmetycznej do notacji algebraicznej (literowej) przedstawimy zależność koniunkcji w postaci $c = a \cdot b$. Podobnie jak w notacji algebraicznej klasycznej można i tu opuścić znak mnożenia i napisać $c = ab$. Iloczyn logiczny odpowiada, podobnie jak zwykły iloczyn algebraiczny, prawu przemienności

$$ab = ba \qquad (2)$$

W wyrażeniu ab czynnik b może być z kolei iloczynem logicznym dwóch innych czynników $b = de$. Wtedy zamiast ab można napisać ade. Aby iloczyn ten miał wartość 1, musi być spełniony warunek $a = 1$ i $b = 1$. Ostatni warunek zaś jest spełniony, gdy $d = 1$ i $e = 1$. Jak widać, iloczyn logiczny trzech wielkości ma wartość 1 tylko i wyłącznie wtedy, gdy wszystkie jego czynniki mają wartość 1, a więc gdy żaden z nich nie ma wartości 0. Rozumowanie to można rozszerzyć na dowolną liczbę czynników. Można zatem w tym przypadku stwierdzić pełną analogię między iloczynem logicznym n wielkości, a odpowiednim iloczynem algebraicznym w systemie dwójkowym.

1.2. Alternatywa (suma logiczna)

Alternatywą nazywa się zdanie, złożone z dwóch lub więcej członów w taki sposób, że jest ono prawdziwe, gdy choćby jeden z jego członów jest prawdziwy, fałszywe zaś jedynie wtedy, gdy wszystkie jego człony są fałszywe. Na przykład zdanie: „we wtorek, albo w środę byłem na konferencji" będzie fałszywe jedynie wtedy, gdy oba jego człony będą fałszywe (nie byłem na konferencji ani we wtorek, ani w środę). Jeżeli zaś jeden z członów, albo oba są prawdziwe (byłem na konferencji we wtorek, albo byłem na konferencji i we wtorek i w środę), to i całe zdanie jest prawdziwe. W notacji logiki matematycznej znakiem alternatywy jest $\vee$. Znak ten pochodzi od łacińskiego wyrazu „vel" (*albo*). Omówione wyżej cztery możliwe przypadki prawdziwości lub fałszywości alternatywy można zapisać następująco:

$$0 \vee 0 = 0; \quad 0 \vee 1 = 1; \quad 1 \vee 0 = 1; \quad 1 \vee 1 = 1 \qquad \text{(3a)}$$

Podane zależności przypominają działanie sumowania, jeśli bowiem znak alternatywy $\vee$ zastąpić znakiem dodawania, to otrzymamy

$$0+0 = 0; \quad 0+1 = 1; \quad 1+0 = 1; \quad 1+1 = 1 \qquad \text{(3b)}$$

Pierwsze trzy sumy logiczne odpowiadają ściśle sumowaniu w arytmetyce zwykłej, czwarta jednak nie zgadza się z sumowaniem w systemie dwójkowym, w którym suma dwóch jedności równa się 10 ($1+1 = 10$). Mimo tej niezgodności przyjęto na ogół w zastosowaniach technicznych alternatywę nazywać sumą logiczną, a znak $\vee$ zastępować znakiem $+$. Sumę logiczną (alternatywę) określa się jako funkcję „albo".

W notacji algebraicznej alternatywę przedstawia się w postaci $c = a+b$. Suma logiczna, tak jak i iloczyn logiczny, odpowiada prawu przemienności

$$a+b = b+a \qquad (4)$$

W taki sam sposób, w jaki przedstawiono, że iloczyn logiczny może się składać z dowolnej liczby czynników, można wykazać, że suma logiczna dowolnej liczby składników a, b, c, d itd. będzie miała wartość 1, gdy przynajmniej jeden (lub więcej) ze składników będzie równy 1, a przyjmie wartość 0 jedynie wtedy, gdy wszystkie jej składniki będą równe 0.

1.3. Zmienna i jej negacja w algebrze *Boole'a*

Każda z wielkości zmiennych a, b, c, x, y ..., występujących w wyrażeniach algebry *Boole'a* i jej funkcjach, może przybierać jedynie jedną z dwóch wartości albo 1, albo 0, czyli

$$\text{jeżeli} \quad x \neq 1, \quad \text{to} \quad x = 0 \qquad \text{(5a)}$$

$$\text{jeżeli} \quad x \neq 0, \quad \text{to} \quad x = 1 \qquad \text{(5b)}$$

Wartość 1 jest więc zaprzeczeniem wartości 0 i odwrotnie wartość 0 jest zaprzeczeniem wartości 1. W algebrze *Boole'a*, a zwłaszcza w jej zastosowaniach technicznych, zaprzeczenie nazywa się negacją. Negację oznacza się kreską poziomą, umieszczoną nad symbolem danej zmiennej, albo grupy zmiennych

$$\bar{1} = 0; \quad \bar{0} = 1$$

Negację odczytuje się jako: „*nie x*", „*nie y*", *nie a*" itd. W literaturze algebry obwodów można się spotkać z innym jeszcze symbolem negacji — przecinkiem, umieszczonym z prawej strony u góry symbolu zmiennej $x' = \bar{x}$; $(a+b)' = \overline{(a+b)}$.

Z zależności (5a) i (5b) wynika, że

$$x \cdot \bar{x} = 0 \qquad \text{(6a)}$$

$$x + \bar{x} = 1 \qquad \text{(6b)}$$

2. Zależności między funkcjami *Boole'a*

Z podanych poprzednio definicji i twierdzeń wynika bezpośrednio

$$x+0 = x \tag{7a}$$

$$x \cdot 1 = x \tag{7b}$$

$$1+x = 1 \tag{8a}$$

$$0 \cdot x = 0 \tag{8b}$$

$$x+x = x \tag{9a}$$

$$x \cdot x = x \tag{9b}$$

$$\overline{(\bar{x})} = x \tag{10}$$

2.1. Metody przeprowadzania dowodów w algebrze *Boole'a*

Przechodząc do ustalania zależności między funkcjami dwóch i więcej zmiennych trzeba najpierw udowodnić szereg podstawowych zależności. Istnieją trzy metody przeprowadzania dowodów w algebrze *Boole'a*, 1) klasyczna, 2) algebraiczna, 3) odwzorowań.

2.1.1. Metoda klasyczna. Polega ona na zbadaniu wszystkich możliwych przypadków i ustaleniu na tej podstawie szukanych zależności. Metodę tę stosuje się zazwyczaj w odniesieniu do funkcji dwóch zmiennych, rozszerzając następnie przez analogię otrzymane zależności na większą liczbę zmiennych.

Z metodą klasyczną zapoznamy czytelnika na następującym przykładzie.

Udowodnić, że suma zmiennej i iloczynu jej przez inną zmienną równa się tej zmiennej, a więc że

$$x+xy = x \tag{11a}$$

Sporządzamy tabelę, której każdy wiersz odpowiada innej kombinacji wartości zmiennych (w tym przypadku zmiennych x i y), kolumny zaś — poszczególnym zmiennym i ich funkcjom, występującym w rozpatrywanej zależności. W pierwszej kolumnie tabeli 2a będzie więc notowana wartość zmiennej x, a w drugiej — zmiennej y, w trzeciej iloczynu xy, w czwartej wreszcie — sumy $x+xy$. Aby przez nieuwagę nie opuścić żadnej z możliwych kombinacji zmiennych, występujących we wzorze, dobrze jest notować kolejno wartości zmiennych, odpowiadających naturalnemu szeregowi liczb w systemie dwójkowym. W tym celu można zmienne x, y, z ... potraktować jako kolejne cyfry liczby binarnej, a następnie do pierwszych kolumn tabeli wpisać wartości zmiennych, odpowiadające kolejnym wartościom owej liczby binarnej. Jak wiadomo, największa wartość liczby binarnej złożonej z n cyfr wynosi $2^n - 1$, a więc w tym przypadku $2^2-1 = 3$. Kolejne liczby od 0 do 3 mają w systemie binarnym postać 00, 01, 10, 11, w tej też kolejności notujemy wartości x i y w odpowiednich kolumnach tabeli 2. W kolumnie trzeciej wpisane są wartości iloczynu xy, równe 0 dla pierwszych trzech wierszy; w wierszu czwartym wartość iloczynu równa się 1, ponieważ w tym wierszu $x = 1$ i $y = 1$. W kolumnie czwartej wpisano wartości, będące sumą (zgodnie z definicją sumy według wzorów 3) wartości, zanotowanych w kolumnach pierwszej i trzeciej. Po wykonaniu tych czynności od razu można spostrzec, że we wszystkich wierszach tabeli, a więc dla wszystkich możliwych kombinacji wartości zmiennych x i y, suma $x+xy$ ma taką samą wartość, jak zmienna x, a zatem uzyskano potwierdzenie wzoru $x+xy = x$.

Tabela 2

a)

1	2	3	4
x	y	xy	$x+xy$
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	0	1
1	1	1	1

b)

1	2	3	4
x	y	$x+y$	$x(x+y)$
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	1
1	1	1	1

Wzór (11a) ma ważne znaczenie ogólne. Wynika z niego mianowicie, że każda wielkość x obejmuje sobą zawsze iloczyn tej wielkości przez dowolną inną wielkość y. Stwierdzenie to można zanotować w postaci $x > xy$.

Sporządziwszy podobną tabelę z kolumnami x, y, $x+y$, oraz $x(x+y)$ stwierdzimy, że

$$x(x+y) = x \tag{11b}$$

Aby ustalić związki między funkcjami trzech zmiennych trzeba opracować tabele, obejmujące osiem wierszy, odpowiadających ośmiu (2^3) kombinacjom wartości trzech zmiennych. Dla przykładu podano tabelę 3, z której wynika, że

$$x(y+z) = xy+xz \tag{12a}$$

oraz

$$x+yz = (x+y)(x+z) \tag{12b}$$

Tabela 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
x	y	z	$y+z$	$x(y+z)$	xy	xz	$xy+xz$	yz	$x+yz$	$x+y$	$x+z$	$(x+y)(x+z)$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

2.1.2. Metoda algebraiczna. Ze wzoru (12a) wynika, że w algebrze *Boole'a*, podobnie jak w algebrze zwykłej, jest spełnione prawo rozdzielności mnożenia względem dodawania. Ze wzoru zaś (12b) wynika, że w algebrze *Boole'a* jest również spełnione prawo rozdzielności dodawania względem mnożenia, nie spełniane w algebrze zwykłej. Prawo rozdzielności mnożenia względem dodawania pozwala na przeprowadzenie mnożenia wielomianów w taki sam sposób, jak

w algebrze zwykłej, a to z kolei prowadzi do algebraicznej metody sprawdzania zależności, czy udowadniania związków między funkcjami *Boole'a*.

Dla przykładu można przeprowadzić metodą algebraiczną sprawdzenie słuszności wzoru (11b). W tym celu wykonuje się najpierw mnożenie

$$x\,(x+y) = xx+xy$$

Ponieważ na podstawie zależności (9b) iloczyn xx można zastąpić przez x, a na podstawie wzoru (8a) sumę $1+y$ można zastąpić wartością 1, dalsze przekształcenia będą miały następujący przebieg

$$xx+xy = x+xy = x\,(1+y) = x\cdot 1 = x$$

Prawo rozdzielności dodawania względem mnożenia pozwala na skrócenie przebiegu mnożenia wielomianów, w których powtarza się przynajmniej jedna zmienna. Poniżej podano algebraiczne sprawdzenie słuszności prawa rozdzielności dodawania względem mnożenia

$$(x+y)\,(x+z) = xx+xy+xz+yz$$

Stosując wzór (9b), a następnie (11a) można napisać

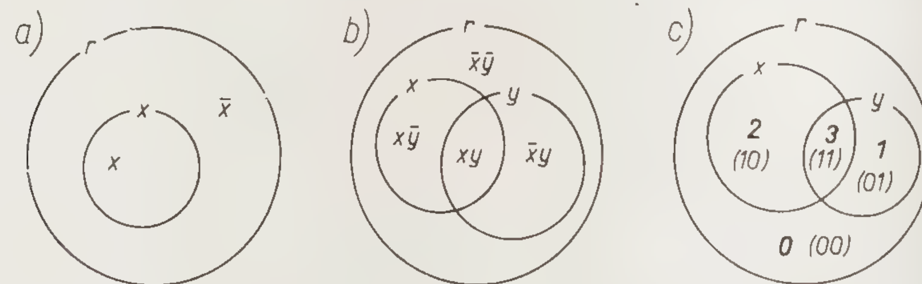
$$xx+xy+xz+yz = x+xy+xz+yz = x+yz,$$

a więc istotnie

$$(x+y)\,(x+z) = x+yz$$

2.1.3. Metoda odwzorowań. Słuszność związków pomiędzy funkcjami *Boole'a* dwóch lub więcej zmiennych można udowadniać posługując się graficznymi odwzorowaniami funkcji. Tego rodzaju odwzorowania są prócz tego bardzo wygodne przy przekształceniu i minimalizacji wyrażeń strukturalnych, a wreszcie przy analizie i syntezie obwodów i układów sterowania, zwłaszcza obwodów wielotaktowych. Wynika stąd celowość bliższego zapoznania się z istotą i zasadami graficznych odwzorowań funkcji *Boole'a*.

Zmienną x i jej negację $\bar{x}$ odwzorowuje się za pomocą kół *Eulera* (rys. 49a). Zmienna x jest tu reprezentowana przez pole, ograniczone okręgiem koła x. Pole leżące na zewnątrz koła x reprezentuje wszystko, co nie jest x, a więc $\bar{x}$. Dla wygody zakres „wszystko" ograniczono do pola, leżącego wewnątrz koła odniesienia r, a wtedy $\bar{x}$ jest reprezentowane przez ograniczone pole, zawarte między obszarem okręgu x i okręgu r.



Rys. 49. Odwzorowanie funkcji *Boole'a* za pomocą kół *Eulera*

Rysunek 49b przedstawia odwzorowanie dwóch zmiennych x i y za pomocą kół *Eulera* (x i y), leżących wewnątrz koła odniesienia r. Pole wewnątrz okręgu r zostało przez okręgi kół x i y podzielone na cztery pola składowe:

— pole leżące na zewnątrz obu okręgów x i y. Reprezentuje ono iloczyn $\bar{x}\bar{y}$, ponieważ odpowiada jednocześnie wartości 0 zmiennej x i wartości 0 zmiennej y;

— pole leżące wewnątrz okręgu y lecz na zewnątrz okręgu x reprezentuje oczywiście iloczyn $\bar{x}y$ (y lecz nie x);

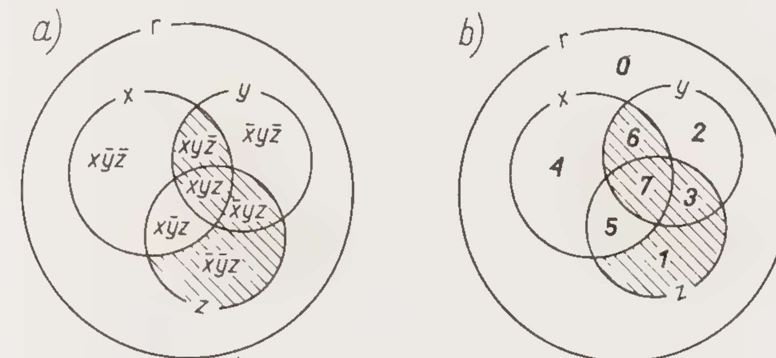
— pole wewnątrz koła x, lecz na zewnątrz koła y reprezentuje iloczyn $x\bar{y}$;

— pole wewnątrz obu okręgów x i y reprezentuje iloczyn xy.

Jeśli w danym problemie zmienne, wchodzące w skład iloczynów, będą zawsze pisane w tej samej kolejności (np. najpierw x, potem y), to będzie można jednoznacznie podporządkować tym iloczynom liczby binarne (liczby w systemie dwójkowym) w ten sposób, że literze z kreską będzie odpowiadała cyfra binarna (bit) 0, a literze bez kreski cyfra (bit) 1. Wtedy np. iloczynowi $x\bar{y}$ będzie odpowiadała liczba binarnej 10 i odwrotnie liczbie binarnej 01 będzie odpowiadał iloczyn $\bar{x}y$. Jeżeli liczby binarne zastąpić przez liczby systemu dziesiętnego o tej samej wartości (a więc np. 10 przez 2), to każde pole elementarne w odwzorowaniu *Eulera* można jednoznacznie określać odpowiednim numerem. Rys. 49c jest powtórzeniem rys. 49b, na którym oznaczenia pól przez iloczyny literowe zostały zastąpione odpowiednikami binarnymi (liczby w nawiasach) i dziesiętnymi (liczby bez nawiasów).

Jest to nowa odmiana zapisu funkcji *Boole'a*. Zarówno odwzorowanie *Eulera*, jak i omówiony wyżej sposób liczbowej notacji funkcji *Boole'a* przedstawia każdą funkcję jako sumę (pól, iloczynów, symboli liczbowych). Przedstawienie funkcji jako sumy iloczynów, z których każdy obejmuje wszystkie zmienne tej funkcji, nazywa się kanoniczną postacią sumy.

Na rysunku 50a przedstawiono odwzorowanie pewnej funkcji *Boole'a* trzech zmiennych x, y i z. Odpowiednie pole odwzorowania zostało na rysunku zakreskowane. W notacji liczbowej (rys. 50b) funkcję tę przedstawia się w postaci $f(x, y, z) = \Sigma\,(\mathbf{1, 3, 6, 7})$. Z rysunku można odczytać, że pole odwzorowania



Rys. 50. Odwzorowanie funkcji trzech zmiennych

składa się z pól elementarnych, odpowiadających iloczynom $\bar{x}\bar{y}z$, $\bar{x}yz$, $xy\bar{z}$, xyz, a więc $f(x, y, z) = \bar{x}\bar{y}z+\bar{x}yz+xy\bar{z}+xyz$. Jest to kanoniczna postać sumy. Z tego samego odwzorowania wynika jednak, że omawianą funkcję można wyrazić prostszą postacią iloczynów $f(x, y, z) = xy+\bar{x}z$, zwaną normalną postacią sumy.

Omówiony wyżej przykład przejścia z liczbowego zapisu funkcji do kanonicznej postaci sumy można rozwiązać również bez uciekania się do odwzorowania *Eulera*

$$f(x, y, z) = \Sigma\,(\mathbf{1, 3, 6, 7}) = (001,\ 011,\ 110,\ 111) = \bar{x}\bar{y}z+\bar{x}yz+xy\bar{z}+$$
$$+xyz = \bar{x}z\,(\bar{y}+y)+xy\,(\bar{z}+z) = \bar{x}z1+xy1 = \bar{x}z+xy$$

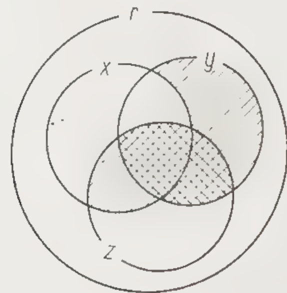
Aby przy liczbowej notacji funkcji *Boole'a* uniknąć niepewności, czy dana liczba przedstawia określoną wartość, czy też jest symbolem, określającym ilo-

czyn zmiennych w algebrze obwodów, liczby użyte jako symbole iloczynów będą pisane grubszą czcionką.

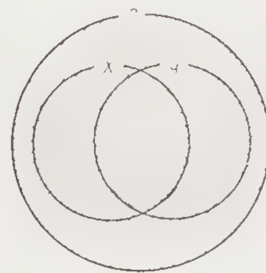
Jak podano wyżej, odwzorowania graficzne mogą służyć do przeprowadzania dowodu prawdziwości związków między funkcjami *Boole'a*. Dla przykładu udowodnimy słuszność wzoru redukcyjnego

$$\bar{x}y+xz+yz = \bar{x}y+xz \qquad (13a)$$

Na rysunku 51 zakreskowano pola, odwzorowujące prawą stronę wzoru (13a). Dwa pola, odpowiadające odpowiednio iloczynom $\bar{x}y$ i xz, pokrywają się na po-



Rys. 51. Odwzorowanie funkcji $\bar{x}y+xz+ +xy = \bar{x}y+xz$



Rys. 52. Odwzorowanie negacji sumy i iloczynu dwóch zmiennych

wierzchni, odpowiadającej iloczynowi yz (pole zakreskowane na krzyż). Iloczyn yz jest zatem w wyrażeniu zbyteczny, co dowodzi słuszności wzoru (13a). W podobny sposób można, posługując się odwzorowaniem *Eulera*, dowieść, że

$$(\bar{x}+y)(x+z)(y+z) = (\bar{x}+y)(x+z) \qquad (13b)$$

Na podstawie wzorów (13a i b) można z kolei dojść do wzorów

$$x+\bar{x}y = x+y \qquad (14a)$$

$$x(\bar{x}+y) = xy \qquad (14b)$$

2.2. Negacja funkcji wielu zmiennych

Pole zakreskowane na rysunku 52 z lewej ku prawej przedstawia funkcję dwóch zmiennych xy. Wszystkie pozostałe pola odwzorowania dwóch zmiennych (zakreskowane z prawej ku lewej) przedstawiają oczywiście negację iloczynu xy („nie xy"), a jednocześnie sumę $\bar{x}+\bar{y}$. Tak więc negacja iloczynu dwóch zmiennych jest równa sumie negacji tych zmiennych

$$\overline{(xy)} = \bar{x}+\bar{y} \qquad (15a)$$

W analogiczny sposób można dowieść, że negacja sumy dwóch zmiennych równa się iloczynowi negacji tych zmiennych

$$\overline{(x+y)} = \bar{x}\bar{y} \qquad (15b)$$

Wzory (15a i b) pozwalają znaleźć negację dowolnej funkcji przez kolejne traktowanie jej jako sumy lub iloczynu dwóch podfunkcji. Niech będzie $f(x, y, w, z) = (x+y)(w+z)$. Traktując tę funkcję jako iloczyn dwóch sum, można napisać

$$\overline{f(x, y, w, z)} = \overline{(x+y)(w+z)} = \overline{(x+y)}+\overline{(w+z)} = \bar{x}\bar{y}+\bar{w}\bar{z}$$

Uogólniając stosowanie wzorów (15a i b) do znajdowania negacji funkcji wielu zmiennych dochodzi się do wzoru *De Morgana*

$$\overline{f(x_1, x_2, x_3, \dots x_n \cdot +)} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots \bar{x}_n + \cdot) \qquad (16)$$

Prawo *de Morgana* można odczytać natępująco: aby otrzymać funkcję, będącą negacją danej funkcji wielu zmiennych, należy w niej zmienić znaki mnożenia na znaki dodawania i odwrotnie, a wszystkie zmienne na ich negacje.

Przykład 1. Znaleźć negację funkcji $f = a\{[xy+z(\bar{w}+\bar{y})]+\bar{x}w\}$
Rozwiązanie: $\bar{f} = \bar{a}+(\bar{x}+\bar{y})(\bar{z}+wy)(x+\bar{w})$

2.3. Dualizm zależności algebry *Boole'a*

Załóżmy, że są dwie równoważne funkcje *Boole'a*

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots x_n, \cdot +) = \varphi(x_1, x_2, x_3, \dots x_n, \cdot +) \qquad (17a)$$

Nie ulega wątpliwości, że również negacje tych funkcji będą sobie równoważne, a więc

$$\overline{f(x_i)} = \overline{\varphi(x_i)}$$

Korzystając ze wzoru *De Morgana* tę ostatnią równość można zapisać w postaci

$$f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots \bar{x}_n, + \cdot) = \varphi(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots \bar{x}_n, + \cdot)$$

Ponieważ ostatnia równość nie zależy od wyboru symboli zmiennych, zamiast zmiennych ze znakiem negacji można napisać zmienne bez tego znaku

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots x_n, + \cdot) = \varphi(x_1, x_2, x_3, \dots x_n, + \cdot) \qquad (17b)$$

Znaczenie wzorów (17a i b) jest interpretowane następująco:
jeżeli dwie funkcje $f(x_i)$ i $\varphi(x_i)$ są sobie równoważne, to dwie inne funkcje, uzyskane przez zmianę w danych funkcjach działań mnożenia logicznego na dodawanie i odwrotnie, będą także równoważne.

Jest to jeden z przejawów dualizmu w algebrze *Boole'a*, który już był wykorzystywany w niniejszej pracy. Wzory są podawane w obu postaciach, oznaczanych obok numeru wzoru literami a i b.

2.4. Przedstawienie funkcji w postaci iloczynu sum

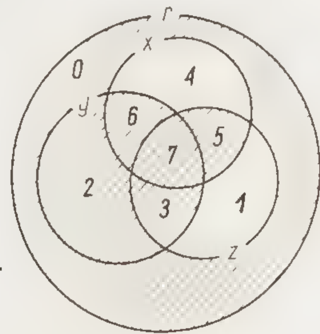
Z dualizmem w algebrze *Boole'a* wiąże się możliwość przedstawienia każde funkcji w dwóch postaciach: sumy iloczynów i iloczynu sum. Przy przejściu z postaci sumy iloczynów do iloczynu sum należy znaleźć negację $\bar{f}$ funkcji f, wyrażonej w postaci sumy iloczynów. Negacja ta będzie miała postać iloczynu sum. Po przeprowadzeniu mnożenia sum w nawiasach otrzymuje się funkcję $\bar{f}$, wyrażoną w postaci sumy iloczynów. Znajdując z kolei negację funkcji f dojdzie się z powrotem do funkcji pierwotnej f (patrz zależność 10), wyrażonej tym razem w postaci iloczynu sum.

Wyjaśnić to można na przykładzie funkcji $f(x, y, z) = \Sigma(\mathbf{0}, \mathbf{2}, \mathbf{3}, \mathbf{5}, \mathbf{6}, \mathbf{7})$, której odwzorowanie przedstawiono na rys. 53. Funkcję tę można przedstawić w kanonicznej postaci sumy iloczynów $f(x, y, z) = \bar{x}\bar{y}\bar{z}+\bar{x}y\bar{z}+\bar{x}yz+x\bar{y}z+xy\bar{z}+ +xyz$, albo po uproszczeniu — w normalnej postaci sumy $f(x, y, z) = \bar{x}\bar{z}+xz+ +y$. Normalną postać można od razu odczytać z odwzorowania *Eulera*; aby dojść do niej na drodze algebraicznej, trzeba przeprowadzić sumowanie każdego wyrazu postaci kanonicznej z wszystkimi wyrazami, różniącymi się od niego wartością tylko jednej zmiennej, np. $\bar{x}\bar{y}\bar{z}+\bar{x}y\bar{z} = \bar{x}\bar{z}(\bar{y}+y) = \bar{x}\bar{z}$.

Znajdujemy negację normalnej postaci danej funkcji $\overline{f(x, y, z)} = (x+z)(\bar{x}+\bar{z})\bar{y}$; wykonujemy mnożenie sum w nawiasach $\overline{f(x, y, z)} = (\bar{x}x+\bar{x}z+x\bar{z}+\bar{z}z)\bar{y} = \bar{x}\bar{y}z+x\bar{y}\bar{z}$. Powtórne przeprowadzenie negacji da $f(x, y, z) = (x+y+\bar{z})(\bar{x}+y+z)$.

Aby przekonać się, że istotnie otrzymana postać jest równoważna pierwotnej, należy wykonać mnożenie

$$(x+y+\bar{z})(x+y+z) = x\bar{x}+\bar{x}y+\bar{x}\bar{z}+xy+yy+yz+xz+yz+z\bar{z}$$

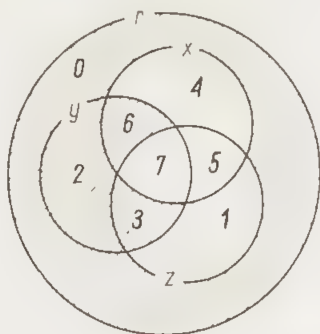


Rys. 53. Odwzorowanie funkcji Σ (**0**, **2**, **3**, **5**, **6**, **7**,) = Π (**1**, **4**)

Na podstawie zależności (6a) można zredukować pierwszy i ostatni wyraz rozwinięcia; na podstawie (9b) iloczyn yy można zredukować do litery y, otrzymując $\bar{x}y+\bar{x}\bar{z}+xy+y+y\bar{z}+xz+yz$. Wreszcie na podstawie (11a) można zredukować wszystkie iloczyny, w skład których wchodzi zmienna y, otrzymując $\bar{x}\bar{z}+y+xz$, a więc pierwotną postać funkcji.

W rozpatrywanym przykładzie postać iloczynu sum zawiera wszystkie zmienne w każdym nawiasie, jest to więc kanoniczna postać iloczynu.

Wyrażenie funkcji *Boole'a* w postaci iloczynu sum (kanonicznej lub normalnej) można uzyskać bezpośrednio z jej odwzorowania podobnie, jak z takiego odwzorowania uzyskano postać sumy iloczynów. W tym celu należy uwzględnić wszystkie pola elementarne, leżące poza zakresem pola odwzorowania funkcji (na rys. 53 będą to pola **1** i **4**, odpowiadające iloczynom $x\bar{y}\bar{z}$ i $\bar{x}\bar{y}z$. Do nawiasów w postaci iloczynu sum wpisuje się negacje iloczynów $x\bar{y}\bar{z}$ i $\bar{x}\bar{y}z$, otrzymując bezpośrednio $f(x, y, z) = (\bar{x}+y+z)(x+y+\bar{z})$.



Rys. 54. Odwzorowanie funkcji Σ (**0**, **2**, **3**, **6**) = Π (**1**, **4**, **5**, **7**)

Kanoniczną postać iloczynów można zapisać również za pomocą notacji liczbowej. W tym celu znak Σ zastępuje się znakiem Π i po tym znaku wypisuje się w nawiasie wszystkie liczby ciągu naturalnego od 0 do 2^n (n jest liczbą zmiennych), nie występujące w liczbowym zapisie kanonicznej postaci sumy iloczynów. Liczby te będą odpowiadały polom elementarnym, leżącym poza odwzorowaniem funkcji.

P r z y k ł a d 2. Znaleźć liczbowy zapis kanonicznej postaci iloczynów funkcji $f(x, y, z) = \Sigma$ (**0**, **2**, **3**, **6**) (rys. 54).

Przy trzech zmiennych odwzorowanie obejmuje 8 pól elementarnych, z których w podanym wyżej zapisie kanonicznej postaci sumy nie występują pola **1**, **4**, **5**, **7**, a więc zapisem kanonicznej postaci iloczynów danej funkcji jest $f(x, y, z) = \Pi$ (**1**, **4**, **5**, **7**). Pierwszy zapis daje wyrażenie funkcji w postaci $f(x, y, z) = \bar{x}\bar{y}\bar{z}+\bar{x}y\bar{z}+\bar{x}yz+xy\bar{z}$, drugi zaś — $(x+y+\bar{z})(\bar{x}+y+z)(\bar{x}+y+\bar{z})(\bar{x}+\bar{y}+\bar{z})$

3. Zastosowanie algebry *Boole'a* do obwodów dwustanowych

Każdy obwód dwustanowy może znajdować się jedynie w jednym z dwóch stanów — zamkniętym, albo otwartym. Stan obwodu zależy od jego struktury (układu połączeń) i od stanów elementów obwodu (zestyków), które też mogą być jedynie albo zamknięte, albo otwarte. Spostrzeżenie to nasunęło młodemu amerykańskiemu inżynierowi, *C. E. Shannonowi*, myśl wykorzystania algebry *Boole'a* do dwustanowych obwodów sterowania przekaźnikowego (1938 r.). *Shannon* wykazał, że każdy obwód szeregowo-równoległy może być odwzorowany przez odpowiednią funkcję *Boole'a*. Zmienne takiej funkcji będą odpowiadały zestykom obwodu tak, że dla wszystkich kombinacji stanów zestyków obwodu, a w funkcji dla odpowiednich wartości zmiennych, wartość funkcji będzie odpowiadała stanowi obwodu.

3.1. Podporządkowanie wartości funkcji i jej zmiennych stanom obwodu i jego zestyków

Stanowi zamknięcia zestyków i obwodu można równie dobrze podporządkować wartość 1 odpowiednich zmiennych i funkcji, jak i wartość 0. Możliwość wyboru doprowadziła do istnienia dwóch konwencji: w konwencji pierwszej stan zamknięcia oznacza się przez 1, otwarcia zaś — przez 0; w konwencji drugiej stan zamknięcia oznacza się przez 0, stan zaś otwarcia — przez 1. Każda z tych konwencji prowadzi do odmiennej postaci wyrażenia algebry *Boole'a* opisującego strukturę obwodu i zwanego w y r a ż e n i e m s t r u k t u r a l n y m o b w o d u. Konwencja pierwsza (stan zamknięcia = 1, stan otwarcia = 0) wydaje się bardziej „logiczna" w potocznym znaczeniu tego słowa, dlatego też znalazła ona prawie powszechne zastosowanie. Będzie ona stosowana także w niniejszej książce. Czasem jednak w literaturze można się spotkać z teorią obwodów opartą na konwencji drugiej (zwłaszcza dla obwodów sterowania hydraulicznego i pneumatycznego), dlatego też w najbliższych paragrafach zostanie przeprowadzone porównanie obu konwencji dla konkretnych przykładów.

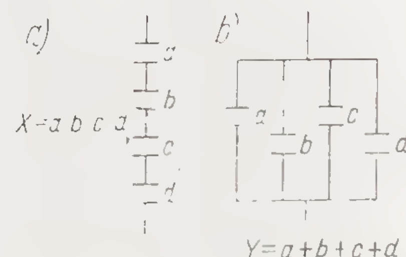
3.2. Wyrażenia strukturalne obwodów elementarnych

Rysunek 55a przedstawia obwód elementarny X, złożony z czterech zestyków a, b, c i d, połączonych szeregowo. Obwód ten będzie zamknięty tylko wtedy, gdy wszystkie jego zestyki będą zamknięte, otwarty zaś — gdy chociażby jeden zestyk będzie otwarty. Przyjmując pierwszą konwencję oznaczania stanu zestyków symbolami 0 i 1, można stwierdzić, że wyrażenie strukturalne elementarnego obwodu, złożonego z zestyków połączonych szeregowo, będzie miało postać iloczynu zmiennych $X = abcd$.

Gdyby przyjąć konwencję drugą, według której stan zamknięty oznacza się przez 0, należałoby dobrać taką funkcję $X(a, b, c, d)$, która przybierałaby wartość 0 tylko wtedy, gdy wszystkie jej zmienne mają wartość 0. W tej konwencji wyra-

żeniem strukturalnym obwodu złożonego z zestyków połączonych szeregowo będzie suma logiczna zmiennych, reprezentujących te zestyki $X = a+b+c+d$.

Rozumując w podobny sposób można dojść do wniosku, że wyrażeniem strukturalnym obwodu elementarnego, złożonego z zestyków a, b, c i d połączonych równolegle (rys. 55b) będzie w konwencji pierwszej suma logiczna $Y = a+b+c+d$, natomiast w konwencji drugiej — iloczyn logiczny $Y = abcd$, ponieważ suma ma wartość 1, gdy chociażby jeden jej składnik ma wartość 1, a iloczyn ma wartość 0, gdy chociaż jeden jego składnik ma wartość 0.



Rys. 55. Iloczyn logiczny i suma logiczna jako wyrażenia strukturalne obwodów elementarnych: a) szeregowego; b) równoległego

Jak widać, przy zmianie konwencji wyrażenie strukturalne danego obwodu należy poddać przekształceniu podobnemu do operacji znajdowania negacji: zmienić znaki mnożenia na znaki dodawania i odwrotnie. Nie należy jednak dopisywać nad zmiennymi kreski poziomej, ponieważ w obu konwencjach zestyki oznacza się jednakowo.

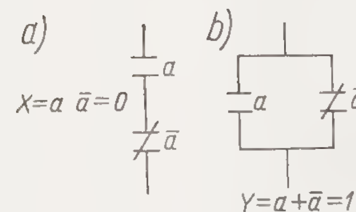
W niniejszej pracy będzie stosowana wyłącznie konwencja pierwsza (stan zamknięcia = 1, stan otwarcia = 0), a więc wyrażeniem strukturalnym obwodu złożonego z zestyków połączonych szeregowo będzie iloczyn ich symboli literowych, a wyrażeniem strukturalnym obwodu złożonego z zestyków połączonych równolegle będzie suma tych symboli.

Zestyki łącznika dwupołożeniowego można podzielić na dwie grupy, do jednej będą należały zestyki zamknięte w jednym położeniu łącznika, a otwarte w drugim, do drugiej zaś — zestyki otwarte w pierwszym przypadku, a zamknięte w drugim. Cechą podstawową tych dwu zestyków jest to, że gdy jedne znajdują się w stanie 1, to drugie w stanie 0. To stwierdzenie pozwala w wyrażeniach strukturalnych traktować zmienne, reprezentując zestyki danej grupy, jako negacje zmiennych, reprezentujących zestyki drugiej grupy tego samego łącznika.

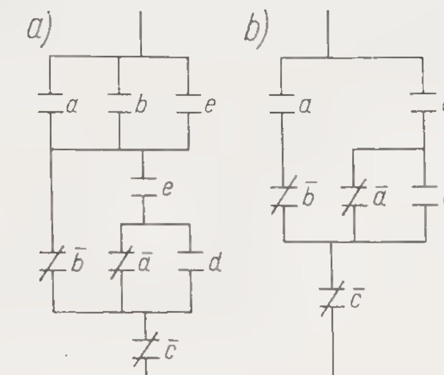
W przypadku łączników o napędzie zwrotnym przyjęto oznaczać zestyki zwierne literami bez znaku negacji, zestyki zaś rozwierne — tymi samymi literami ze znakiem negacji. W łącznikach stabilizowanych można dowolnie jednej z grup zestyków przydzielić oznaczenia literowe bez znaku negacji, a drugiej — ze znakiem negacji.

Rysunek 56a przedstawia obwód, w którym znajdują się dwa zestyki tego samego łącznika: zwierny a i rozwierny $\bar{a}$, połączone ze sobą szeregowo. Wyrażenie strukturalne tego obwodu ma postać $X = a\bar{a}$. Natomiast rys. 56b przedstawia obwód z takimi samymi zestykami, połączonymi równolegle. Obwód ten jest określony wyrażeniem strukturalnym $Y = a+\bar{a}$. Zgodnie ze wzorami (6a i b) obwód X pozostaje stale otwarty, obwód zaś Y stale zamknięty.

Ta analogia między zestykiem zwiernym i rozwiernym z jednej strony, a zmienną i jej negacją z drugiej — jest w pełni słuszna jedynie w odniesieniu do łączników idealnych, w których zamknięcie zestyków jednej grupy następuje dokładnie w tym samym momencie, co otwarcie zestyków grupy drugiej. W łącznikach rzeczywistych w stanie przejściowym najczęściej nie jest spełniony warunek 6b, a w pewnych typach łączników — warunek 6a. Do problemu tego powrócimy jeszcze w rozdziale ósmym, traktując na razie wszystkie łączniki jako idealne w wyżej podanym sensie.



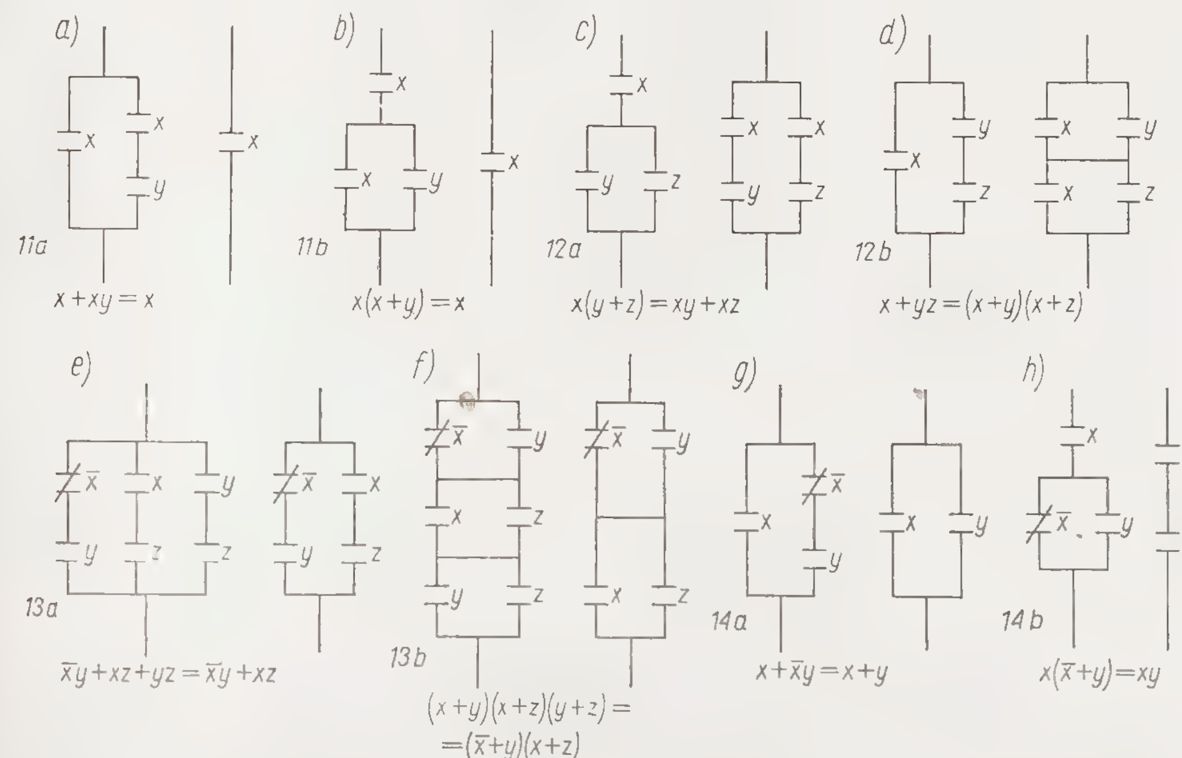
Rys. 56. Obwody elementarne, odpowiadające iloczynowi i sumie zmiennej i jej negacji



Rys. 57. Równoważne obwody szeregowo-równolegle o wyrażeniach strukturalnych: a) $(a+b+c)[\bar{b}+(\bar{a}+d)e]\bar{c}$; b) $[a\bar{b}+(\bar{a}+d)e]\bar{c}$

3.3. Wyrażenia strukturalne obwodów szeregowo-równoległych

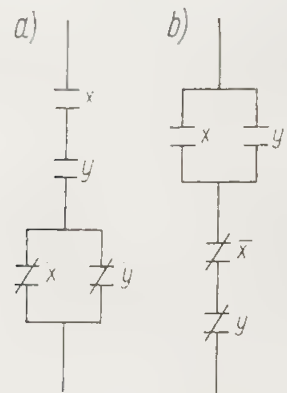
Wyrażenia strukturalne obwodów szeregowo równoległych piszemy w postaci funkcji, w których działania mnożenia odpowiadają szeregowemu łączeniu zestyków lub ich grup, a działania dodawania — równoległemu ich łączeniu. Tak np. dla obwodu pokazanego na rys. 57a wyrażeniem strukturalnym jest $X = (a+b+e)[\bar{b}+(\bar{a}+d)e]\bar{c}$, a dla równoważnego obwodu z rys. 57b $X = \bar{c}[a\bar{b}+e(\bar{a}+d)]$. Związek między obwodem szeregowo-równoległym a jego wyrażeniem strukturalnym jest dwustronny, to znaczy, że określonemu wyrażeniu strukturalnemu odpowiada obwód o ściśle określonej strukturze.



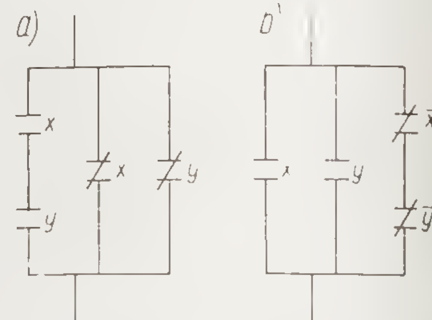
Rys. 58. Pary równoważnych obwodów, odpowiadających tożsamościom (11a) do (14b)

Na rys. 58 przedstawiono obwody odpowiadające wzorom od 11a do 14b. Każdemu wzorowi odpowiadają dwa schematy różne strukturalnie, lecz równoważne sobie funkcjonalnie. Tak np. na rys. 58f pokazano dwa równoważne obwody (dla tej samej kombinacji stanów łączników X, Y i Z oba te obwody są albo zamknięte, albo otwarte), z których lewy składa się z sześciu, prawy zaś jedynie z czterech zestyków. W celu ułatwienia identyfikacji obwodów z odpowiadającymi im wzorami numery tych ostatnich zostały podane obok reprezentujących je obwodów.

Rysunek 59a przedstawia obwód złożony z połączonych szeregowo obwodów elementarnych, odpowiadających lewej i prawej stronie wzoru 15a; podobnie rys. 59 przedstawia szeregowe połączenie dwóch obwodów elementarnych o strukturach, wyznaczonych przez wzór 15b. Ponieważ wyrażenie strukturalne po prawej stronie każdego z tych wzorów jest negacją wyrażenia z lewej strony, ich iloczyny są równe 0, a więc obwody z rys. 59 pozostają stale otwarte.



Rys. 59. Przykłady obwodów stale otwartych, typu $a\bar{a}$



Rys. 60. Przykłady obwodów stale zamkniętych, typu $a+\bar{a}$

Obwody na rys. 60a i b składają się z tych samych, co i poprzednio, obwodów elementarnych, tym razem połączonych równolegle. Zgodnie ze wzorem (6b) obwody te pozostają stale zamknięte.

3.4. Minimalizacja wyrażeń strukturalnych. Wzory redukcyjne

W wyrażeniu strukturalnym znajduje się tyle liter, ile zestyków zawiera jego obwód odwzorowany wyrażeniem. Wzory 11a do 14b łączą znakiem równości dwa równoważne sobie wyrażenia strukturalne o różnej liczbie liter. Obwody odpowiadające tym wyrażeniom (rys. 58) różnią się więc między sobą nie tylko strukturą, lecz i liczbą występujących zestyków, pozostając równoważnymi sobie funkcjonalnie.

Przekształcenie wyrażenia strukturalnego na równoważne, lecz zawierające mniejszą liczbę liter, nazywa się minimalizacją wyrażenia, a wzory prowadzące do minimalizacji — wzorami redukcyjnymi. W tym sensie wszystkie wspomniane wyżej wzory można traktować jako wzory redukcyjne. Dla uzupełnienia wzorów redukcyjnych podamy jeszcze dwie dalsze zależności z algebry *Boole'a*

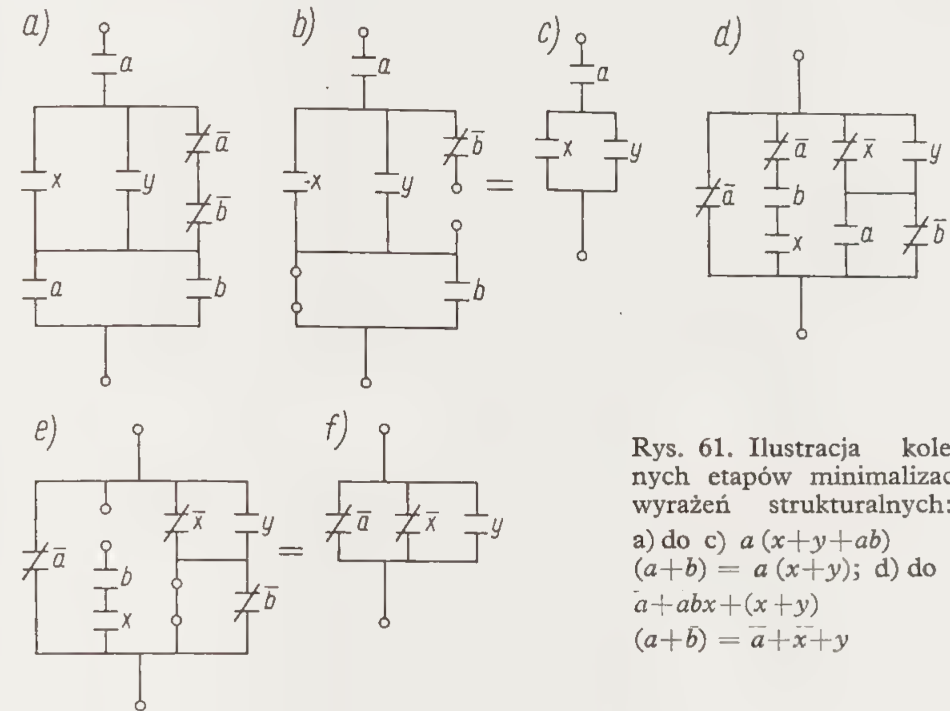
$$x_1 \mathrm{f}(x_1, x_2, x_3, ..., x_n) = x_1 \mathrm{f}(1, x_2, x_3, ... x_n) \qquad (18a)$$

$$x_1 + \mathrm{f}(x_1, x_2, x_3, ..., x_n) = x_1 + \mathrm{f}(0, x_2, x_3, ... x_n) \qquad (18b)$$

Jeżeli wyrażenie strukturalne składa się z iloczynu pewnej zmiennej x_1 przez dowolną funkcję *Boole'a* (f), to wszystkie litery x_1 występujące w wyrażeniu

funkcji f można zastąpić przez 1 (18a). Z powyższego sformułowania można bezpośrednio wnioskować, że w wyrażeniu funkcji f można $\bar{x}_1$ zastąpić przez 0. Oczywiste jest, że jeśli funkcja f jest pomnożona przez $\bar{x}_1$, to w jej wyrażeniu $\bar{x}_1$ można zastąpić przez 1, natomiast x_1 przez 0.

P r z y k ł a d 3. Na podstawie wzoru (18a) przeprowadzić minimalizację wyrażenia strukturalnego $X = a(x+y+\bar{a}b)(a+b)$ (rys. 61a).



Rys. 61. Ilustracja kolejnych etapów minimalizacji wyrażeń strukturalnych: a) do c) $a(x+y+ab)(a+b) = a(x+y)$; d) do f) $\bar{a}+abx+(x+y)(a+\bar{b}) = \bar{a}+\bar{x}+y$

Zmienną x_1 jest w tym przypadku zmienna a, funkcją zaś f wyrażenie $(x+y+\bar{a}b)(a+b)$. Zastępując litery a przez 1, litery $\bar{a}$ przez 0, otrzymuje się $X = a(x+y+0b)(1+b)$ (rys. 61b). Z kolei na podstawie wzorów (8a i b) można napisać $X = a(x+y)$ (rys. 61c).

Jeżeli wyrażenie strukturalne jest sumą pewnej zmiennej x_1 i dowolnej funkcji *Boole'a* (f), to wszystkie litery x_1, występujące w wyrażeniu funkcji f można zastąpić przez 0, a litery $\bar{x}_1$ przez 1 (18b).

P r z y k ł a d 4. Na podstawie wzoru (18b) przeprowadzić minimalizację wyrażenia strukturalnego $Y = \bar{a}+\bar{a}bx+(\bar{x}+y)(a+\bar{b})$ (rys. 61d).

Tym razem zmienną x_1 jest $\bar{a}$, funkcją zaś f wyrażenie $\bar{a}bx+(\bar{x}+y)(a+\bar{b})$. Zastępując w wyrażeniu funkcji f literę $\bar{a}$ przez 0, zaś literę a przez 1 otrzymuje się $Y = \bar{a}+0\,bx+(\bar{x}+y)(1+\bar{b}) = \bar{a}+\bar{x}+y$ (rys. 61e, f).

Minimalizacja wyrażenia strukturalnego prowadzi do redukcji przynajmniej części tych liter, które występują w wyrażeniu dwukrotnie lub wielokrotnie. Jeżeli takie powtarzające się litery występują w wyrażeniu strukturalnym, to należy zawsze przeprowadzić próbę jego minimalizacji.

Najprostszym sposobem redukcji liter w wyrażeniu, przedstawionym w postaci sumy iloczynów, jest wyniesienie wspólnego czynnika przed nawias (wzór 12a). Wynoszenie przed nawias w algebrze obwodów jest nazywane faktoryzacją.

Stosowanie wzorów redukcyjnych przy minimalizacji wyrażenia strukturalnego zmusza niejednokrotnie do przeprowadzenia dodatkowych operacji, wymagających zwykle pewnej intuicji. Można to zilustrować następującym przykładem.

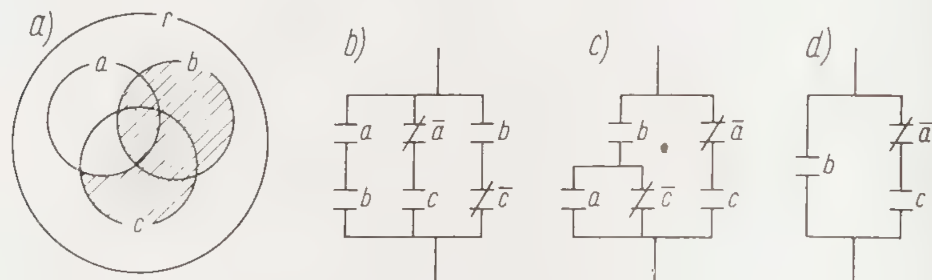
Przykład 5. Przeprowadzić minimalizację wyrażenia strukturalnego $X = ab+\bar{a}c+b\bar{c}$.

Po faktoryzacji otrzymuje się $X = b(a+\bar{c})+\bar{a}c$.

Przy pewnej wprawie łatwo spostrzec, że suma $a+\bar{c}$ jest negacją iloczynu $\bar{a}c$. Można więc wykorzystać wzór redukcyjny (14a) i uprościć ostatnią postać wyrażenia $X = b+\bar{a}c$.

Można również w pierwotnej postaci wyrażenia strukturalnego zastosować wzór (13a) w odniesieniu do pierwszych dwóch iloczynów wyrażenia i napisać $ab+\bar{a}c = ab+\bar{a}c+bc$, a wtedy $X = ab+\bar{a}c+bc+b\bar{c} = ab+\bar{a}c+b(c+\bar{c}) = ab+\bar{a}c+b$. Z kolei redukując ab na podstawie wzoru (11a) otrzymuje się $X = \bar{a}c+b$. Jak widać obie metody prowadzą do znalezienia takiego samego wyrażenia strukturalnego.

Wyrażenie strukturalne można także odwzorować za pomocą kół *Eulera* (rys. 62a). Przy takim odwzorowaniu iloczynowi ab odpowiadają pola elementarne należące jednocześnie do koła a i do koła b; iloczynowi $\bar{a}c$ odpowiadają pola elementarne należące do koła c, lecz położone na zewnątrz koła a itd. Po zakreskowaniu pól odwzorowujących wyrażenie X można z rysunku od razu odczytać $X = b+\bar{a}c$ (całe pole objęte okręgiem b oraz pole objęte okręgiem c, lecz leżące na zewnątrz okręgu a).



Rys. 62. Minimalizacja wyrażenia strukturalnego $ab+\bar{a}c+b\bar{c} = b+\bar{a}c$

Na rysunku 62b, c i d przedstawiono schematy omówionego obwodu, odpowiadające kolejnym postaciom minimalizowanego wyrażenia strukturalnego.

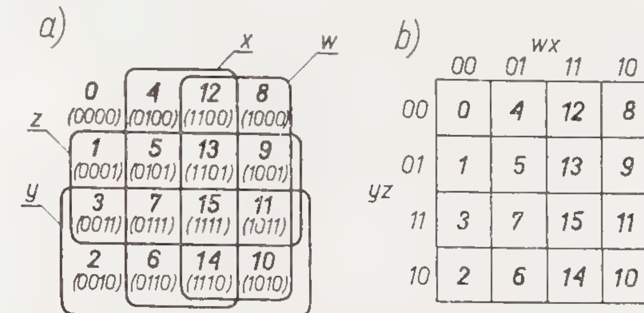
4. Odwzorowanie graficzne w przypadku większej liczby zmiennych

Z ostatniego przykładu wynika, że minimalizację wyrażenia strukturalnego można niejednokrotnie łatwiej i szybciej przeprowadzić za pomocą odwzorowania graficznego, niż metodami algebraicznymi. Jednakże odwzorowanie *Eulera* już w przypadku czterech zmiennych staje się mało czytelne. Zmieniając koła na prostokąty można otrzymać szesnastopolową siatkę, której każde pole odpowiada innej kombinacji wartości czterech zmiennych.

Takie odwzorowanie dla przypadku czterech zmiennych przedstawiono na rys. 63a. Zaznaczono na nim zmienne reprezentowane przez poszczególne prostokąty, oraz wpisano numery pól elementarnych, określone na zasadzie ustalonej poprzednio przy omawianiu odwzorowania *Eulera* (numery dziesiętne podano bez nawiasów, binarne zaś w nawiasach). Na rys. 63b to samo odwzorowanie zostało podane w postaci powszechnie używanej — siatka odwzorowań ma postać kwadratu szesnastopolowego, w którym binarne oznaczenia wartości dwóch zmiennych

w i x są podane u góry siatki, dwóch pozostałych y i z z jej lewej strony. Wewnątrz pól elementarnych wpisano ich numery dziesiętne.

Aby ustalić numer pola w systemie binarnym trzeba najpierw ustalić kolejność zmiennych, reprezentowanych przez to pole. Najczęściej przyjmuje się kolejność, dającą pierwszeństwo zmiennym, reprezentowanym przez kolumny (w siatce rys. 63 są to zmienne w, x), przed zmiennymi, reprezentowanymi przez



Rys. 63. Odwzorowanie funkcji *Boole'a* w przypadku czterech zmiennych: a) odwzorowanie *Eulera-Venna*; b) siatka *Karnaugha*

wiersze (na rys. 63 są to zmienne y, z). Po ustaleniu kolejności zmiennych (dla siatki rys. 63 będzie to kolejność $wxyz$) pisze się zamiast liter cyfry, zastępując daną literę cyfrą 1, jeżeli określane pole leży wewnątrz dużego prostokąta, reprezentującego odpowiednią zmienną, albo cyfrą 0, jeżeli leży ono poza tym prostokątem. Tak np. pole w trzeciej kolumnie i w drugim wierszu leży: a) wewnątrz prostokąta reprezentującego pierwszą zmienną w ($w = 1$); b) wewnątrz prostokąta X ($x = 1$); c) na zewnątrz prostokąta y ($y = 0$); d) wewnątrz prostokąta z ($z = 1$) a więc pole to ma numer 1101.

Wszystkie pola leżące w tej samej kolumnie mają jednakowe dwie pierwsze cyfry, odpowiadające wartościom zmiennych w i x, kolumny oznacza się więc tymi właśnie literami i cyframi. Podobnie wszystkie pola leżące w tym samym wierszu mają jednakowe dwie ostatnie cyfry, odpowiadające wartościom zmiennych y i z, wiersze więc oznaczamy tymi właśnie literami i cyframi.

Podaną nad kolumnami siatki (rys. 63b) numerację binarną należy traktować jako zapis iloczynu zmiennych, reprezentowanych przez całą daną kolumnę, dokonany w umownym kodzie binarnym. Jakie zmienne i w jakiej kolejności zapisu są odwzorowane przez kolumny, powinno być określone nad kolumnami w postaci iloczynu tych zmiennych (na rys. 63b iloczyn xy). Tak więc kolumna pierwsza od lewej strony, oznaczona liczbą binarną 00, odwzorowuje iloczyn $\bar{w}\bar{x}$, druga 01 — iloczyn $\bar{w}x$, trzecia 11 — wx i czwarta 10 — $w\bar{x}$. Podobnie z symboli podanych obok wierszy można odczytać, że pierwszy wiersz od góry odwzorowuje iloczyn $\bar{y}\bar{z}$ 00, drugi — iloczyn $\bar{y}z$ 01, trzeci — yz 11, czwarty wreszcie — $y\bar{z}$ 10.

Oznaczenia kolumn i wierszy liczbami binarnymi nie odpowiada kolejności wartości tych liczb, lecz innej, która w liczbach dziesiętnych wyraża się numeracją: -0-1-3-2. Ta zmiana kolejności powoduje również niekolejne numerowanie pól numerami dziesiętnymi. Omawiane uporządkowanie kolumn i wierszy bardzo jednak ułatwia ustalanie wyrażeń strukturalnych na podstawie graficznego odwzorowania funkcji. Wystarczy zauważyć, że przy przechodzeniu w tym samym wierszu z dowolnej kolumny do kolumny sąsiedniej zmienia się każdorazowo wartość tylko jednej zmiennej. Podobnie przy przechodzeniu z dowolnego wiersza do wiersza sąsiedniego w tej samej kolumnie ulega zmianie wartość tylko jednej zmiennej. Właściwość tę obserwuje się również przy przechodzeniu z pierw-

szej kolumny do ostatniej i z pierwszego wiersza do wiersza ostatniego, dlatego kolumny te i wiersze również nazywa się **sąsiednimi**. Sąsiedztwo takie staje się bardziej wyraźne, jeśli wyobrazić sobie tablicę odwzorowań nawiniętą na walec.

Tablice, w których oznaczenia kolumn i wierszy są uporządkowane wg podanych wyżej zasad noszą nazwę siatek *Karnaugha*. W literaturze można czasem spotkać odwzorowanie za pomocą siatek, w których porządek oznaczania kolumn i wierszy odpowiada normalnej kolejności numerów w systemie binarnym. Siatkę taką pokazano na rys. 64. Można sprawdzić, że chociaż numeracja pól w takiej

wz \ xy	00	01	10	11
00	0	4	8	12
01	1	5	9	13
10	2	6	10	14
11	3	7	11	15

Rys. 64. Siatka odwzorowania z naturalną kolejnością kolumn i wierszy

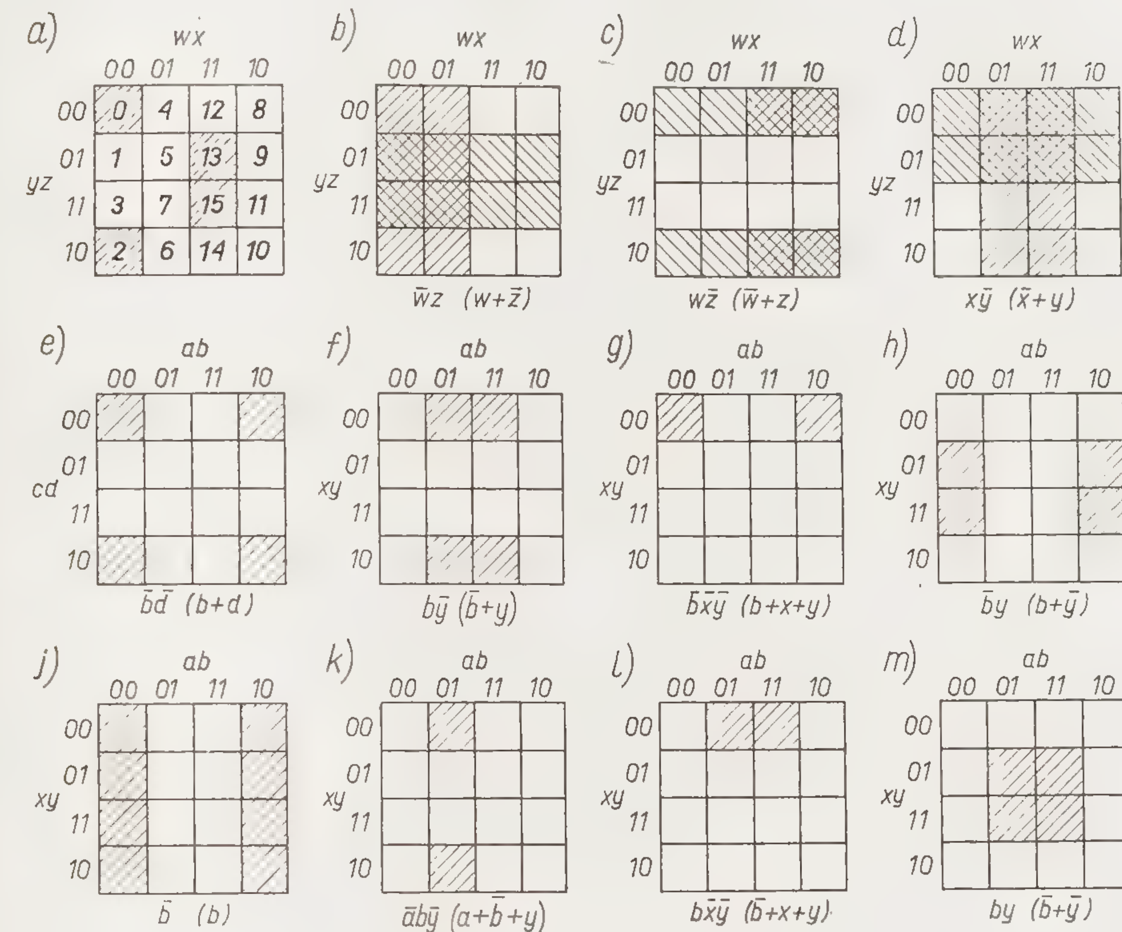
siatce wydaje się bardziej uporządkowana, to jednak nie są w niej spełnione wymagania stawiane kolumnom i wierszom sąsiednim. Tak np. jedynie wiersze (kolumny) pierwszy i drugi są sąsiednimi według naszej definicji sąsiedniości, pozostałe zaś wiersze i kolumny nie spełniają warunków sąsiedniości, ponieważ przy przechodzeniu z jednego wiersza (kolumny) do leżącego obok trzeba zmieniać jednocześnie wartość dwóch zmiennych.

Dzięki specyfice siatki *Karnaugha* można łatwo przedstawiać grupy (sumy, lub iloczyny) pól za pomocą oznaczeń literowych zawierających możliwie małą liczbę liter, a więc w postaci zminimalizowanej.

Na przykład jeżeli wziąć dwa sąsiednie pola tak usytuowane, że tworzą prostokąt, to dzięki specyfice siatek *Karnaugha* wyrażenia literowe tych pól będą się między sobą różniły jedynie wartością jednej zmiennej. A więc przy ich sumowaniu można wykorzystać wzór (6b) i oba pola oznaczyć iloczynem, zawierającym o jedną zmienną mniej od maksymalnej liczby zmiennych, reprezentowanych przez daną siatkę *Karnaugha*. Zniknie mianowicie ta zmienna, która odróżniała jedno pole od drugiego. Wyłożona zasada odnosi się do sumy wszelkich dwóch pól sąsiednich, a więc np. zarówno do sumy pól **13+15** (rys. 65a), jak i pól **0+2**. W pierwszym przypadku otrzymuje się sumę iloczynów, $wx\bar{y}z+wxyz = wxz$, w drugim zaś $\bar{w}\bar{x}\bar{y}\bar{z}+\bar{w}\bar{x}y\bar{z} = \bar{w}\bar{x}\bar{z}$. W praktyce nie dochodzi się jednak do zredukowanego iloczynu przez wykonanie dodawania, jak wyżej, lecz pisząc od razu wyrażenie strukturalne odpowiadające danemu prostokątowi, jako iloczyn wszystkich zmiennych z wyjątkiem tej, której wartość jest różna w obu polach składowych. Każdą zmienną pisze się w postaci nie zanegowanej (bez kreski u góry), jeśli w obu polach wartość jej wynosi 1, w postaci zaś zanegowanej, jeśli wartość tej zmiennej w obu polach wynosi 0. Tak np. prostokątowi złożonemu z dwóch pól **1** i **9** (prostokąt ten nie został zakreskowany na rysunku) odpowiada iloczyn nie zawierający zmiennej w, ponieważ w polu **1** wartość jej wynosi 0, a w polu **9** ma ona wartość 1. Pozostałe zmienne mają w obu polach odpowiednio wartości $x = 0, y = 0, z = 1$, a więc prostokąt złożony z pól **1** i **9** reprezentuje iloczyn $\bar{x}\bar{y}z$.

Kwadrat czteropolowy można w dwojaki sposób rozłożyć na sumę dwóch prostokątów dwupolowych dzieląc go albo wzdłuż kolumn, albo wzdłuż wierszy. W kolumnach, w których leży dany kwadrat, jedna ze zmiennych ma różne war-

tości: zmienna ta znika w iloczynie reprezentowanym przez kwadrat. Podobnie znika w iloczynie ta zmienna, która ma różne wartości w obu wierszach kwadratu. Zmienne, których wartość nie ulega zmianie w obrębie kwadratu, określają dwuliterowy iloczyn reprezentowany przez ten kwadrat. W polach siatki *Karnaugha* można także odwzorowywać funkcje większej liczby zmiennych, niż cztery. W każdej jednak siatce pojedyncze pole odwzorowuje iloczyn wszystkich zmiennych reprezentowanych przez siatkę, a więc jego wyrażenie literowe jest iloczynem wszystkich tych zmiennych. Dwupolowy prostokąt reprezentuje iloczyn bez jednej zmiennej, czteropolowy kwadrat — iloczyn bez dwóch zmiennych. Kwadraty o większej liczbie pól niż cztery oraz prostokąty o liczbie pól przekraczającej dwa nie zawsze dają się przedstawić w postaci jednego iloczynu zmiennych, jeśli jednak jest to



Rys. 65. Przykłady odwzorowań na siatce *Karnaugha*

możliwe, to jedynie dla kwadratów i prostokątów, których liczba pól równa się 2^n, gdzie n jest dowolną liczbą całkowitą. Jeśli taka figura znajduje się w siatce odwzorowującej m zmiennych, a więc w siatce o 2^m polach, i jeśli można tę figurę określić jednym iloczynem, to będzie on się składał z $(m-n)$ zmiennych.

Kwadraty i prostokąty złożone z pojedynczych pól w taki sposób, że mogą być określane jednym iloczynem kilku zmiennych spośród zmiennych odwzorowanych przez siatkę, noszą nazwę podgrup. W takiej nomenklaturze wyraz grupa oznacza sumę podgrup, składających się na jedno wyrażenie strukturalne.

Umiejętność poprawnego kojarzenia odwzorowanych pól w podgrupy, ustalania iloczynów, określających te podgrupy, a wreszcie wyznaczania na siatce *Karnaugha* podgrup reprezentujących iloczyny danego wyrażenia strukturalnego, będzie podstawą dla zrozumienia dalszej części książki.

Przypominamy stwierdzenie, do którego dochodzi się analizując odwzorowania za pomocą kół *Eulera*, a mianowicie: iloczyn dwóch sum, z których każda składa się z pewnej liczby pól elementarnych, jest reprezentowany wyłącznie przez te pola, które występują w odwzorowaniach obu przemnażanych przez siebie sum.

W odwzorowaniu na siatce *Karnaugha* każde pojedyncze pole leży na przecięciu jednej kolumny i jednego wiersza, odwzorowuje więc ono iloczyn wyrazów reprezentowanych przez tę kolumnę i przez ten wiersz. Tak np. pole **13** (rys. 65a) leży na skrzyżowaniu kolumny 11, reprezentującej iloczyn wx, z wierszem 01, reprezentującym iloczyn $\bar{y}z$, pole to zatem odwzorowuje iloczyn $wx\bar{y}z$.

Podgrupę, złożoną z pól **13 i 15**, można traktować jako przecięcie kolumny wx z sumą wierszy $\bar{y}z+yz$. Podgrupa ta odwzorowuje więc iloczyn $wx(\bar{y}z+yz) = wxz(\bar{y}+y) = wxz$. Podgrupą jest zawsze kwadrat lub prostokąt, leżący na skrzyżowaniu kolumny, lub sumy kolumn sąsiednich z wierszem, lub sumą wierszy sąsiednich.

Na rysunku 65b widać podgrupę, zakreskowaną na krzyż. Leży ona na przecięciu sumy dwóch kolumn sąsiednich $\bar{w}\bar{x}+\bar{w}x$ z sumą dwóch sąsiednich wierszy $\bar{y}z+yz$. Podgrupa ta odwzorowuje zatem iloczyn $(\bar{w}\bar{x}+\bar{w}x)(\bar{y}z+yz) = \bar{w}z$. Na tym i następnych rysunkach opuszczono dziesiętną numerację pól, gdyż przy omawianiu tych rysunków nie jest ona potrzebna.

Na rysunku 65c przedstawiono inną podgrupę, utworzoną przez przecięcie kolumn $wx+w\bar{x}$ z wierszami $\bar{y}\bar{z}+y\bar{z}$. Podgrupa ta zatem odwzorowuje iloczyn $(wx+w\bar{x})(\bar{y}\bar{z}+y\bar{z}) = w\bar{z}$. Należy pamiętać, że pierwszy i ostatni wiersz siatki są również wierszami sąsiednimi, ich suma reprezentuje więc podgrupę ośmiopolową, określającą jeden stan jednej zmiennej, w omawianym przykładzie zmienną $\bar{z}$.

Po tych wstępnych wyjaśnieniach można od razu ustalać literę, odpowiadającą sumie dwóch sąsiednich kolumn lub wierszy. Z dwóch dwucyfrowych liczb binarnych, oznaczających sąsiednie kolumny lub wiersze, odrzuca się tę, która jest różna w oznaczeniach obu kolumn, a zatrzymuje się tę, która jest wspólna. Jeśli otrzymaną cyfrą jest 1, to odpowiadającą jej zmienną pisze się bez znaku negacji, jeśli 0 — z negacją.

Na rysunku 65d przedstawiono podgrupę utworzoną przez przecięcie sumy dwóch kolumn środkowych z dwoma górnymi wierszami. W oznaczeniach kolumn 01 i 11 druga cyfra 1 pozostaje niezmieniona. Ponieważ druga cyfra w oznaczeniu kolumn odpowiada zmiennej x, jako pierwszy czynnik iloczynu otrzymuje się x. W oznaczeniu wierszy 00 i 01 nie zmienia się pierwsza cyfra, reprezentująca zmienną y. Ponieważ jest to cyfra 0, drugim czynnikiem iloczynu jest $\bar{y}$. Zakreskowana podgrupa czteropolowa reprezentuje więc iloczyn $x\bar{y}$.

W podobny sposób przedstawia się ustalanie wyrazów algebraicznych, odpowiadających podgrupom, wchodzącym w skład wyrażenia strukturalnego, przedstawionego w kanonicznej lub normalnej postaci iloczynu sum. Pamiętajmy przy tym, że przy takiej postaci wyrażenia strukturalnego jego poszczególne czynniki, złożone z sumy zmiennych, odpowiadają podgrupom, utworzonym z pól leżących poza odwzorowaniem danej funkcji. Jeśli taką właśnie podgrupą jest np. przedstawiona na rys. 65a, złożona z pól **13 i 15**, to jej wyraz otrzymamy, przemnażając przez siebie negację wyrazów iloczynowych składowych pól, a więc

$$\overline{wx\bar{y}z}\cdot\overline{wxyz} = (\bar{w}+\bar{x}+y+\bar{z})(\bar{w}+\bar{x}+\bar{y}+\bar{z})$$

Wyrazy w nawiasach różnią się między sobą jedynie wartością jednej zmiennej y, zgodnie więc ze wzorem (12b) zmienna ta zanika po wymnożeniu, jako wyraz odpowiadający naszej podgrupie otrzymamy zatem sumę $\bar{w}+\bar{x}+\bar{z}$. Zwróćmy uwagę, że otrzymana suma jest negacją iloczynu, jaki otrzymaliśmy, szukając wyrazu określającego tę samą podgrupę w postaci iloczynów. Jest to oczywiste, ponieważ według wzoru (15b) iloczyn negacji jest negacją sumy. Na rysunku 65b do 65m pod każdym odwzorowaniem podgrupy podaliśmy jej algebraiczne określenie w postaci iloczynu oraz, w nawiasie, negację tego iloczynu. Negacja ta stanowi wyrażenie określające w postaci iloczynu sum wszystkie pozostałe pola siatki, nie objęte wyrażeniem złożonym z sumy iloczynów.

Aby jednak znaleźć wyraz odpowiadający danej podgrupie, gdy wchodzi ona do wyrażenia strukturalnego przedstawionego w postaci iloczynu sum, nie musimy znajdować najpierw wyrazu iloczynowego, a następnie jego negacji. Stosujemy po prostu od razu technikę analogiczną do opisanej przy znajdowaniu iloczynu, określającego podgrupę, zamieniając jedynie mnożenie przez dodawanie i pisząc zmienną bez znaku negacji, jeśli z sumowania kolumn pozostała nam cyfra 0, z negacją zaś, gdy pozostała cyfra 1. Czytelnik będzie miał okazję przećwiczyć znajdowanie wyrażeń złożonych z sumy iloczynów dla podgrup z określonych na rys. 65 oraz wyrażeń złożonych z iloczynów sum, określających pozostałe pola siatki (rys. 65b do 65m).

Siatkę *Karnaugha* można wykorzystać również do odwzorowania funkcji o dowolnej liczbie zmiennych, chociaż posługiwanie się nią w przypadku więcej niż sześciu zmiennych staje się zwykle niewygodne, a tym samym niecelowe.

Na rysunku 66a przedstawiono siatkę *Karnaugha* dla trzech zmiennych, jest ona pełnym odpowiednikiem odwzorowania *Eulera* dla trzech zmiennych, a jako wygodniejsza w użyciu całkowicie wyparta w zastosowaniach technicznych odwzorowanie *Eulera*.

a

z \ xy	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	1	1	0

b

z \ xy	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	1	1	0

Rys. 66. Siatka *Karnaugha* dla trzech zmiennych

Dla porównania tych dwóch metod odwzorowania zostanie na siatce *Karnaugha* powtórzony dowód na zależność (13a), przedstawiony poprzednio na rys. 51a. Przy okazji zostanie omówiony powszechnie przyjęty sposób odwzorowania na siatkach *Karnaugha* funkcji (wyrażeń strukturalnych) i składających się na nie wyrazów (podgrup). W przypadku funkcji określonej w dowolnej postaci sumy iloczynów (nie tylko w postaci kanonicznej złożonej z iloczynów wszystkich zmiennych) wpisuje się cyfrę 1 w te pola, w których dana funkcja przybiera wartość 1, w pozostałe pola cyfrę 0. W ten sposób pola oznaczone cyfrą 1 reprezentują kombinacje stanów zestyków, dla których obwód wyznaczony przez dane wyrażenie strukturalne jest zamknięty, pozostałe pola — kombinacje stanów, dla których obwód jest otwarty.

Wzór strukturalny funkcji można, jak wiadomo, ustalić albo przez zsumowanie podgrup z wpisaną cyfrą 1, albo też obliczając iloczyn sum, otrzymanych przez negację iloczynów odpowiadających podgrupom z wpisaną cyfrą 0. Odpowiednio do tego mówi się o podgrupach jedynkowych i zerowych. Nazwę tę rozciągamy również na wyrażenia strukturalne, nazywając je złożonymi z podgrup jedynkowych, jeżeli są przedstawione w postaci sumy iloczynów, albo złożonymi z podgrup zerowych, jeżeli są przedstawione w postaci iloczynu sum.

Iloczyny umieszczone pod siatkami przedstawionymi na rys. 65 określają podgrupy, traktowane jako podgrupy jedynkowe; sumy zaś umieszczone w nawiasach określają te same podgrupy, traktowane jako podgrupy zerowe.

Ponieważ wzór (13a) jest przedstawiony w postaci sumy iloczynów, jego odwzorowanie będzie się składało z podgrup jedynkowych. Odwzorowanie to można uzyskać (rys. 66) wpisując cyfrę 1 w pola poszczególnych podgrup jedynkowych, odwzorowujących kolejne iloczyny występujące we wzorze. Dla ułatwienia pracy dobrze jest uprzytomnić sobie, że jeśli funkcja jest odwzorowana na siatce obejmującej m zmiennych, to każdy jej wyraz, będący iloczynem n zmiennych będzie odwzorowany przez podgrupę złożoną z 2^{m-n} pól. W omawianym przypadku siatka odwzorowuje trzy zmienne x, y, z, a każdy wyraz w odwzorowanym wyrażeniu jest iloczynem dwóch zmiennych, będzie więc on odwzorowany przez podgrupę dwupolową ($2^{3-2} = 2^1 = 2$).

Odwzorowywanie rozpoczyna się od pierwszego wyrazu xy, w którym to iloczynie brakuje zmiennej z. Wyraz ten obejmuje więc oba pola kolumny 11, w której zmienna x i zmienna y mają wartość 1.

Wyraz $\bar{x}z$ nie zależy od zmiennej y, będzie zatem reprezentowany przez pola, dla których $\bar{x}z = 1$, a więc $\bar{x} = 1$, czyli $x = 0$, oraz $z = 1$. Pola tej podgrupy leżą w drugim wierszu $z = 1$ siatki i w pierwszych dwóch kolumnach $x = 0$, odpowiadających literze $\bar{x}$.

Trzeci wyraz wzoru (13a), a mianowicie iloczyn yz będzie odwzorowany przez podgrupę leżącą na przecięciu drugiego wiersza z z drugą i trzecią kolumną y. Podgrupa ta obejmuje jednak pola, w których już wpisano cyfrę 1 przy odwzorowywaniu pierwszych dwóch wyrazów wyrażenia strukturalnego $xy+\bar{x}z+yz$, co dowodzi, że trzeci wyraz jest zbyteczny i że istotnie $xy + \bar{x}z+yz = xy+\bar{x}z$.

W odwzorowaniu na siatce *Karnaugha* ten trzeci wyraz przejawia pewną specyficzną cechę, dzięki której jest on często wykorzystywany w wyrażeniach strukturalnych obwodów wielotaktowych. Celem uwidocznienia wyrazu yz, należy obwieść ciągłymi liniami (rys. 66) podgrupy odwzorowujące pierwsze dwa wyrazy $xy+\bar{x}z$, a podgrupę odwzorowującą wyraz trzeci yz — linią przerywaną. Spostrzega się wtedy, że linia przerywana obwodzi obszar podgrupy yz w taki sposób, iż pokrywa przerwę widoczną między granicami obszarów podgrup, okolonych linią ciągłą.

Przerysujmy jeszcze raz siątkę wraz z omówionym odwzorowaniem (rys. 66b), aby ustalić to samo wyrażenie w postaci iloczynu sum. Wiadomo już, że taką postać otrzymuje się przemnażając przez siebie sumy zmiennych, określające zerowe podgrupy danego wyrażenia strukturalnego. W podgrupach tych cyfra 0 oznacza, że przy kombinacjach stanów zmiennych, odpowiadających polom podgrup zerowych, obwód jest otwarty.

Rozmieszczenie pól zerowych w omawianym przypadku pozwala znaleźć jeszcze jedną podgrupę zerową, którą na rysunku 66b obwiedziono linią przerywaną. Podgrupa ta odpowiada sumie $(y+z)$. Suma ta nie musi wchodzić w wyrażenie strukturalne, gdyż obejmuje pola już uwzględnione w iloczynie $(\bar{x}+y)(x+z)$. Ponieważ jednak reprezentuje ona podgrupę zerową wyrażenia, można ją do tego wyrażenia włączyć bez obawy o zmianę charakteru określanej funkcji obwodu. Można zatem napisać $(\bar{x}+y)(x+z)(y+z) = (\bar{x}+y)(x+z)$. Należy pamiętać, że zbyteczny czynnik iloczynu $(x+z)$ jest reprezentowany przez podgrupę zerową, pokrywającą przerwę graniczną między podgrupą $x+z$ i podgrupą $\bar{x}+y$.

Wykonując mnożenie dwóch czynników uproszczonej postaci naszego wyrażenia, otrzymuje się postać złożoną z trzech podgrup jedynkowych, ze zbyteczną podgrupą yz $(\bar{x}+y)(x+z) = x\bar{x}+xy+\bar{x}z+yz = xy+\bar{x}z+yz$. Do tego wyniku wrócimy przy omawianiu obwodów wielotaktowych.

Należy zwrócić uwagę, że otrzymane dwa równoważne wyrażenia, złożone z podgrup zerowych, są pod względem treści identyczne ze wzorem (13b). Uległa wprawdzie zmianie notacja jednej zmiennej — tam gdzie we wzorze (13b) było x, jest obecnie $\bar{x}$ i odwrotnie, nie zmienia to jednak w niczym treści wzoru redukcyjnego, niezależnej od doboru oznaczeń literowych.

Obecnie omówione będą siatki *Karnaugha* dla większej liczby zmiennych. Sporządzanie takich siatek nie nastręcza żadnych trudności, jeśli tylko tak uporządkować wiersze i kolumny siatki, by oznaczenie dwóch wierszy (kolumn) leżących obok siebie różniło się stanem tylko jednej zmiennej. Technika takiego porządkowania zostanie wyjaśniona poniżej.

Porównując oznaczenie czterech kolumn z oznaczeniami dwóch wierszy siatki przedstawionej na rys. 66, można sobie wyobrazić, że opis siatki rozpoczyna się od opisu wierszy, a więc od zmiennej z. Ponieważ zmienna jest tylko jedną, są więc tylko dwa wiersze. Prawidłowa jest każda kombinacja oznaczenia wierszy: można oznaczać albo górny wiersz przez 0, a dolny przez 1, albo też odwrotnie. Przyjęto stosować pierwszy wariant. Przyjęto również oznaczać pierwszą kolumnę siatki samymi zerami.

Po ustaleniu oznaczeń wierszy dla jednej zmiennej można przystąpić do oznaczenia kolumn, reprezentujących dwie zmienne x i y. Ponieważ zmiennych jest teraz o jedną więcej, kolumn będzie dwa razy więcej niż wierszy, a więc cztery. Można je podzielić na dwie grupy po dwie kolumny każda, jak zaznaczono na rys. 66a. Pierwsza, lewa grupa kolumn będzie odpowiadała wartości 0 pierwszej zmiennej reprezentowanej przez kolumny, a więc zmiennej x. Prawa grupa kolumn będzie odpowiadała wartości 1 zmiennej x. Następnie ustala się dla każdej kolumny wartości zmiennej y. W lewej grupie kolumn określa się je w takim porządku, jaki przyjęto dla oznaczenia wierszy lub kolumn w przypadku jednej zmiennej — nad pierwszą kolumną dopisuje się 0, nad drugą 1. Z kolei należy określić wartości y dla kolumn drugiej (prawej) grupy, tym razem jednak dopisuje się wartości y w odwrotnej kolejności, symetrycznie względem linii dzielącej kolumny na połowy.

Postępowanie powyższe można rozszerzyć na dowolną liczbę zmiennych, stosując opisaną metodę kolejno dla trzech, czterech itd. zmiennych. Będzie to omówione na przykładzie siatki *Karnaugha* dla sześciu zmiennych: a, b, c reprezentowanych przez kolumny oraz d, e, f reprezentowanych przez wiersze (rys. 67). Zwiększenie o jedną zmienną liczby zmiennych reprezentowanych przez kolumny zwiększa liczbę kolumn dwukrotnie. Jak i poprzednio podzielmy kolumny siatki osią symetrii na dwie grupy, lewą i prawą. Na rys. 67 zaznaczono podział kolumn i wierszy grubszymi liniami.

Opisanie kolumn rozpoczynamy od pierwszej zmiennej a, oznaczając jak poprzednio 0 nad wszystkimi kolumnami lewej grupy, a 1 nad kolumnami grupy prawej. Każda grupa obejmuje teraz cztery kolumny, odpowiadające różnym stanom dwóch pozostałych zmiennych b i c. Kolejność oznaczeń dla dwóch zmiennych jest już znana, w tej więc kolejności dopisuje się wartości zmiennych b i c do wartości 0 zmiennej a w lewej grupie kolumn. W prawej grupie kolumn, znowu jak poprzednio, do wartości 1 zmiennej a dopisuje się wartości zmiennych b i c w odwrotnej kolejności. Analogicznie postępuje się przy opisywaniu wierszy. Oczywiście, w przypadku gdy siatka ma służyć odwzorowywaniu funkcji pięciu zmiennych, stosuje się siatkę 32-polową, posiadającą na przykład osiem kolumn dla odwzorowania trzech spośród pięciu zmiennych i cztery wiersze dla odwzorowania pozostałych dwóch zmiennych. Można również zastosować siatkę *Karnaugha* o czterech kolumnach i ośmiu wierszach.

W poszczególnych kolumnach i wierszach porządek zapisu wartości zmien-

nych, z wyjątkiem pierwszej zmiennej, jest symetryczny względem osi siatki. Dlatego też tego rodzaju uporządkowanie oznaczeń jest nazywane kodem refleksyjnym, a po polsku lustrzanym.

W przypadku siatek, złożonych z ośmiu lub więcej kolumn, albo wierszy, komplikuje się nieco sprawa sąsiedniości, trzeba bowiem rozróżniać sąsiedztwo topograficzne od sąsiedztwa wartościowego. Dwa wiersze (kolumny) siatki *Karnaugha* są sąsiednimi wartościowo wtedy, gdy reprezentowane przez nie iloczyny zmiennych różnią się między sobą wartością jednej tylko zmiennej. Z definicji tej wynika, że względem każdego wiersza (kolumny), reprezentującego iloczyn n zmiennych, istnieje n wierszy (kolumn) sąsiednich pod względem wartości, natomiast zawsze tylko dwa wiersze mogą ze sobą sąsiadować topograficznie. Wiersze, kolumny i pola, sąsiadującego ze sobą wartościowo, będą nazywane po prostu sąsiednimi.

$d\cdot e\cdot f$ \ $a\cdot b\cdot c$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0	8	24	16	48	56	40	32
001	1	9	25	17	49	57	41	33
011	3	11	27	19	51	59	43	35
010	2	10	26	18	50	58	42	34
110	6	14	30	22	54	62	46	38
111	7	15	31	23	55	63	47	39
101	5	13	29	21	53	61	45	37
100	4	12	28	20	52	60	44	36

Rys. 67. Siatka *Karnaugha* dla sześciu zmiennych

Na rysunku 67 u dołu i z prawej strony oznaczono liniami przerywanym i strzałkami pary kolumn i wierszy, nie leżących w bezpośrednim sąsiedztwie topograficznym, a reprezentujących sąsiednie stany zmiennych w znaczeniu określonym wyżej. To rozrzucenie sąsiednich stanów znacznie utrudnia odnajdowanie pól tworzących podgrupy. Z pomocą przychodzi stwierdzenie, że kolumny i wiersze nie sąsiadujące ze sobą na rysunku, a jednak sąsiednie stanami zmiennych są położone symetrycznie względem osi przechodzących przez środek siatki. To spostrzeżenie pozwala od razu stwierdzić, że np. pola **51** i **55** są polami sąsiednimi, ponieważ są rozmieszczone symetrycznie względem osi poziomej, a tym samym tworzą one podgrupę w której wyrażeniu algebraicznym będzie występowało nie sześć, lecz pięć zmiennych. Zabraknie zmiennej d, która w polu **51** ma wartość 0, a w polu **55** wartość 1. Wyrażeniem algebraicznym tej podgrupy będzie więc $ab\bar{c}ef$ (podgrupa jedynkowa), albo $(\bar{a}+\bar{b}+c+\bar{e}+\bar{f})$ w przypadku podgrupy zerowej.

Podobnie cztery dwupolowe prostokąty, odwzorowujące wyrażenie strukturalne Σ (**9, 11, 13, 15, 41, 43, 45, 47**) tworzą jedną podgrupę ośmiopolową, gdyż są one rozmieszczone symetrycznie względem osi siatki. Ponieważ $8 = 2^3$, więc algebraiczne określenie tej podgrupy będzie składało się tylko z trzech zmiennych, pozostałych po wyeliminowaniu trzech, występujących we wszystkich kombinacjach stanów w ośmiu polach tej podgrupy.

Aby możliwie szybko ustalić wyraz odpowiadający danej podgrupie, można rozumować następująco: symetria względem osi pionowej oznacza, że w szukanym wyrazie nie występuje zmienna a; symetria względem osi poziomej upoważnia do skreślenia zmiennej d. Pozostaje więc ustalenie wyrazu, odpowiadającego dwupolowej podgrupie leżącej np. w lewej górnej ćwiartce siatki *Karnaugha*, a więc podgrupie Σ (**9, 11**). Można bez trudu sprawdzić, że wybór ćwiartki jest całkowicie obojętny, ponieważ wartości czterech zmiennych, pozostałych po skreśleniu a i d są dla dwupolowych podgrup identyczne we wszystkich czterech ćwiartkach siatki. Ograniczywszy się w ten sposób do siatki szesnastopolowej bez trudności już można ustalić iloczyn odpowiadający szukanej dwupolowej podgrupie jedynkowej $\bar{b}cf$. Wyraz ten określa całą, ośmiopolową podgrupę jedynkową Σ (**9, 11, 13, 15, 41, 43, 45, 47**). W przypadku, gdyby omawiane osiem pól reprezentowało podgrupę zerową, to znaczy gdyby odwzorowywało zerowe wartości pewnej funkcji przyjmującej wartość 1 w pozostałych 56 polach, negacja iloczynu $\bar{b}cf$ (a więc $b+\bar{c}+\bar{f}$) będzie określała tę funkcję.

Przy omawianiu podgrup odwzorowanych na siatce 16-polowej zaznaczono, że jedynie pola zgrupowane w prostokąty dwupolowe i kwadraty czteropolowe tworzą zawsze podgrupy, zgrupowane zaś w prostokąty o czterech i więcej polach, lub w kwadraty o ośmiu i więcej polach, nie zawsze dadzą się ująć w jednej podgrupie. Takie przypadki zdarzają się jednak tylko w siatkach 32-polowych i większych, w których przy ustalaniu podgrup występuje dodatkowo konieczny warunek symetrycznego rozmieszczenia pól tworzących podgrupę względem osi siatki. Tak np. grupa Σ (**9, 10, 11, 14, 17, 18, 19, 22, 25, 26, 27, 30, 49, 50, 51, 54**) tworzy kwadrat położony niesymetrycznie względem osi siatki, nie daje się więc określić jako jedna podgrupa. Wyrażenia strukturalnego odpowiadającego temu kwadratowi nie można zatem przedstawić przez jeden tylko iloczyn, albo jedną sumę zmiennych. Zminimalizowaną postacią takiego wyrażenia strukturalnego będzie $\bar{a}c\bar{d}f+b\bar{c}\bar{d}f+b\bar{c}e\bar{f}+\bar{a}ce\bar{f} = (\bar{a}c+b\bar{e})\bar{d}f+(b\bar{c}+\bar{a}c)e\bar{f} = (\bar{a}c+b\bar{c})(e\bar{f}+\bar{d}f)$. Podobnie czteropolowy prostokąt Σ (**8, 16, 24, 48**) nie tworzy jednej podgrupy, lecz składa się z dwóch podgrup $\bar{a}c\bar{d}\bar{e}\bar{f}+b\bar{c}\bar{d}\bar{e}\bar{f}$.

Technika minimalizacji wyrażeń strukturalnych

1. Minimalizacja wyrażeń strukturalnych na podstawie odwzorowania *Karnaugha*

1.1. Ustalanie wyrażeń strukturalnych

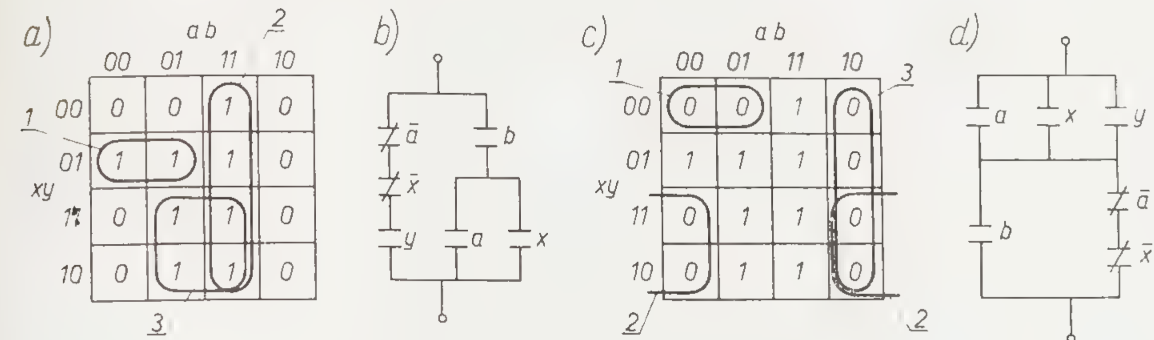
Z przykładów minimalizacji, rozpatrzonych w poprzednim rozdziale, można wyciągnąć wniosek, że najłatwiej jest uzyskać zminimalizowane wyrażenie strukturalne, posługując się jego odwzorowaniem na siatce *Karnaugha.* Aby jednak na tej drodze uzyskać od razu wyrażenie w postaci zminimalizowanej, nie wymagające — poza faktoryzacją — żadnych dalszych operacji algebraicznych, należy poznać i dobrze opanować zasady i technikę posługiwania się odwzorowaniami funkcji *Boole'a* na siatkach *Karnaugha.* Ze względu na znaczenie tej techniki przy projektowaniu układów sterowania będzie ona omówiona obszerniej.

Rozmieszczenie na siatce *Karnaugha* pól odwzorowujących wartość 1 funkcji (obwód zamknięty) i wartość 0 tej funkcji (obwód otwarty) zależy wyłącznie od odwzorowanej funkcji. Te same pola można jednak w różny sposób łączyć w podgrupy. Aby uzyskać optymalne zgrupowanie pól w podgrupy, dające w rezultacie wyrażenie strukturalne w postaci zminimalizowanej, należy przestrzegać następujących dwóch zasad: a) kojarzenie w podgrupy rozpoczynać zawsze od tych pól, które w podgrupy można łączyć w jeden tylko sposób; b) tworzyć podgrupy o możliwie dużej liczbie pól.

Poniżej będzie rozpatrzony szereg przykładów ustalania wyrażeń strukturalnych na podstawie odwzorowania funkcji na siatce *Karnaugha.* W literaturze technicznej rozpatruje się zwykle tego rodzaju przykłady z wyraźną przewagą wyrażeń strukturalnych, złożonych z podgrup jedynkowych, w wyniku czego czytelnik nabywa większej wprawy w operowaniu tą postacią wyrażeń unikając w rezultacie wyrażeń złożonych z podgrup zerowych. Tymczasem nie ma absolutnie żadnego powodu dawania pierwszeństwa tej czy innej postaci wyrażeń strukturalnych i zależnie od przypadku postać iloczynowa (złożona z podgrup zerowych) albo postać sumy (podgrupy jedynkowe) bywa korzystniejsza. Dlatego też przy wszystkich omawianych poniżej przykładach będą ustalone obie postacie wyrażeń strukturalnych. Po nabyciu wprawy to samo odwzorowanie wykorzystuje się do uzyskania wyrażenia strukturalnego w obu postaciach, aby jednak ułatwić zapoznanie się z techniką ustalania wyrażeń na podstawie odwzorowań funkcji na siatce *Karnaugha,* na razie będą stosowane oddzielne siatki do grup jedynkowych, oddzielne zaś do grup zerowych.

P r z y k ł a d 1. W odwzorowaniu funkcji przedstawionym na rys. 68a jest osiem pól ze stanem 1. Leżą one w pierwszej, drugiej i trzeciej kolumnie, oraz we wszystkich czterech wierszach. Pola takie można zawsze kojarzyć w różne podgrupy, dlatego też przy poszukiwaniu pól, od których zgodnie z podaną wyżej zasadą a) należy rozpoczynać formowanie podgrup, zwraca się przede wszystkim uwagę na pola leżące jakby na uboczu. W rozpatrywanym przypadku są to pola $ab\bar{x}\bar{y}$

i $\bar{a}\bar{b}xy$, a więc pola **12** i **1** w numeracji dziesiętnej. Pierwsze z tych pól wraz ze wszystkimi polami kolumny ab tworzy podgrupę czteropolową; drugie pole (**1**) można połączyć jedynie w dwupolową podgrupę jedynkową z polem **5**, sąsiadującym z nim z prawej strony. Tę więc podgrupę traktuje się jako pierwszą, co zaznaczono na rysunku przy konturze podgrupy. Podgrupa ta odpowiada wyrazowi $\bar{a}\bar{x}y$. Pole **12** łączy się w podgrupę nie z jednym polem, leżącym tuż pod nim, lecz ze wszystkimi polami kolumny, tego bowiem wymaga podana wyżej zasada b). Polom tej kolumny odpowiada iloczyn ab, który będzie drugim wyrazem szukanego wyrażenia strukturalnego.



Rys. 68. Przykład 1 ustalania struktury obwodu zestykowego

Pozostałe dwa pola, leżące w dolnej części kolumny $\bar{a}b$, tworzą podgrupę $\bar{a}bx$. Pola te można jednak włączyć do większej, czteropolowej podgrupy, leżącej na przecięciu kolumn drugiej i trzeciej z wierszami trzecim i czwartym. Podgrupie tej odpowiada iloczyn bx, złożony z mniejszej liczby liter niż poprzedni iloczyn $\bar{a}bx$. To, że w trzeciej podgrupie znajdują się dwa pola już objęte podgrupą trzecią, nie ma żadnego znaczenia, ponieważ w algebrze *Boole'a* $x+x=x$.

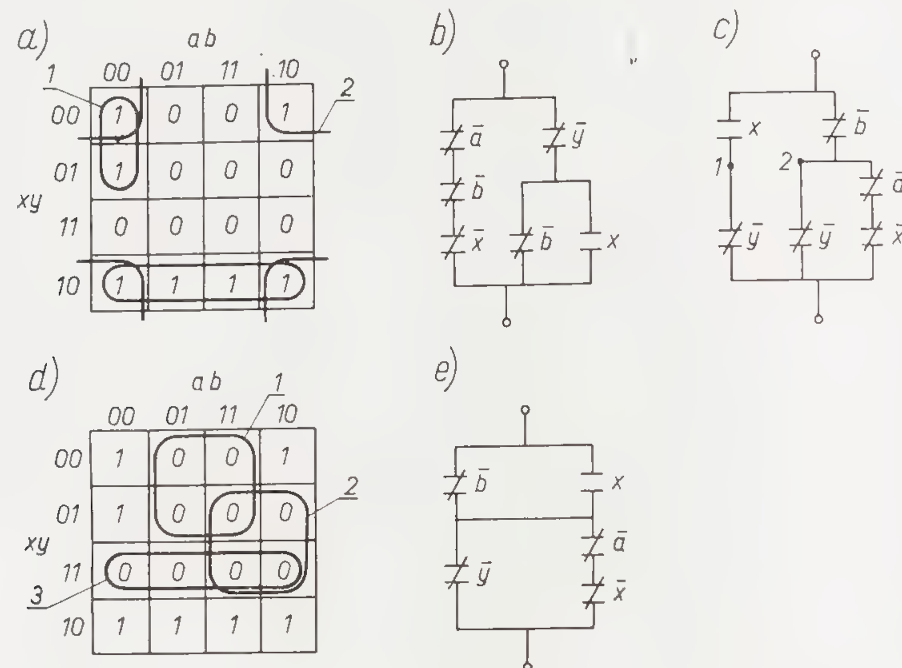
W rezultacie otrzymuje się wyrażenie strukturalne $\bar{a}\bar{x}y+ab+bx$, złożone z siedmiu liter, a więc wyznaczając obwód z siedmioma zestykami. Nietrudno jednak spostrzec, że w wyrażeniu tym w dwóch wyrazach litera b powtarza się, wobec tego można ją wynieść przed nawias, otrzymując wyrażenie złożone już tylko z sześciu liter $\bar{a}\bar{x}y+b\,(a+x)$, wyznaczających obwód z sześcioma zestykami, przedstawiony na rys. 68b.

Na rysunku 68c powtórzono odwzorowanie poprzedniej funkcji, w celu wyznaczenia podgrup zerowych. Powtarzając poprzednie rozumowanie można dojść do wniosku, że polem najuboższym z punktu widzenia możliwości włączenia go do grup jest pole **4**, które można połączyć w podgrupę jedynie z polem **0**. Podgrupę tę oznaczono na rysunku numerem *1*. Odpowiada jej wyraz $a+x+y$. Pozostałe pola ze stanami zerowymi tworzą dwie wyraźne podgrupy czteropolowe: jedna z nich, oznaczona na rysunku numerem *2*, tworzy kwadrat niewłaściwy $b+\bar{x}$; druga — prostokąt obejmujący całą czwartą kolumnę, odpowiada więc jej wyraz $\bar{a}+b$. Wyrażenie strukturalne otrzymuje się przemnażając wyrazy odpowiadające poszczególnym podgrupom $(a+x+y)\,(b+\bar{x})\,(\bar{a}+b)$. Ponieważ w drugim i trzecim dwumianie powtarza się litera b, korzystając ze wzoru redukcyjnego (12b) otrzymuje się ostateczną postać wyrażenia strukturalnego: $(a+x+y)\,(b+\bar{a}x)$. Na rys. 68d przedstawiono schemat obwodu, wyznaczonego przez podane wyrażenie strukturalne.

Otrzymane dwa obwody, wyznaczone przez funkcję odwzorowaną na rys. 68, są całkowicie równoważne tak pod względem liczby zestyków w każdym z nich, jak również pod względem liczby i rodzaju zestyków, należących do różnych aparatów. Jednakże nigdy nie można mówić o całkowitej równoważności, dopóki nie

jest znany cały układ sterowania, w skład którego wchodzi dany obwód. Tak np. w układzie mogą się znajdować obwody, których pewne fragmenty mogłyby być wspólne z fragmentami jednego z tych obwodów (rys. 68b,d). Występowanie zaś w obu obwodach zwiernych i rozwiernych zestyków tego samego łącznika A (zestyki a i $\bar{a}$) oraz X (zestyki x i $\bar{x}$) w różnym układzie będzie prawdopodobnie miało decydujący wpływ na zastosowanie jednego z nich w przypadku obwodów wielotaktowych.

Przykład 2. W przypadku funkcji odwzorowanej na rys. 69a nietrudno stwierdzić, że polem, od którego należy zacząć wyznaczanie podgrup, jest pole **1**, które może utworzyć podgrupę jedynie w połączeniu z polem **0**. Ta pierwsza podgrupa wyznacza pierwszy wyraz szukanego wyrażenia strukturalnego $\bar{a}\bar{b}\bar{x}$.



Rys. 69. Przykład 2 ustalania struktury obwodu zestykowego

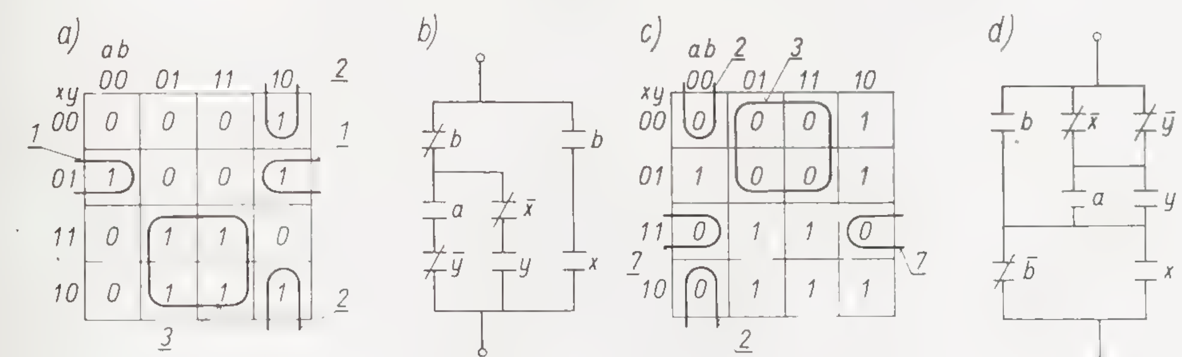
Po jej ustaleniu pozostaje pięć pól, z których cztery tworzą podgrupę zajmującą cały dolny wiersz siatki (podgrupa $x\bar{y}$), a jedno pozostaje samotne w prawym górnym narożu siatki. To samotne pole może jednak wejść w skład dużej, bo czteropolowej podgrupy, utworzonej przez wszystkie pola narożne siatki. Wykorzystamy to zgodnie z zasadą b), im większa jest bowiem podgrupa, tym mniej liter wchodzi do wyznaczonego przez nią wyrazu. Podgrupie złożonej z czterech pól narożnych odpowiada wyraz $\bar{b}\bar{y}$. W ten sposób zostały wyznaczone trzy podgrupy, dające w rezultacie szukane wyrażenie strukturalne $\bar{a}\bar{b}\bar{x}+x\bar{y}+\bar{b}\bar{y}$. W wyrażeniu tym można wynieść przed nawias literę $\bar{y}$ z wyrazu drugiego i trzeciego, albo literę $\bar{b}$ z wyrazu pierwszego i trzeciego. Otrzymuje się wtedy dwa warianty wyrażenia strukturalnego, złożonego z podgrup jedynkowych $\bar{a}\bar{b}\bar{x}+\bar{y}\,(x+\bar{b})$ oraz $x\bar{y}+\bar{b}\,(\bar{y}+\bar{a}\bar{x})$. Na podstawie tych wyrażeń można narysować dwa schematy obwodu (rys. 69b i c). Tym razem różnica między dwoma wariantami jest wyraźniejsza. Pierwszy z nich potrzebuje dwóch zestyków rozwiernych $\bar{b}$ i jednego $\bar{y}$, drugi — dwóch zestyków $\bar{y}$ i jednego $\bar{b}$. W zależności od stopnia wykorzystania zestyków łączników B i Y w innych obwodach układu wybiera się jeden z przedstawionych dwóch wariantów.

Z kolei należy wyznaczyć na siatce podgrupy zerowe (rys. 69d). Tu wyznaczanie zaczyna się od pól zerowych, znajdujących się w pierwszym wierszu siatki, kojarząc je w czteropolową podgrupę z dwoma polami, leżącymi pod nimi. Daje to wyraz $\bar{b}+x$. Następną podgrupę tworzą cztery pola, na skrzyżowaniu trzeciej i czwartej kolumny z drugim i trzecim wierszem, a więc reprezentujące wyraz $\bar{a}+\bar{y}$. Pozostałe dwa pola **3** i **7** tworzą podgrupę odpowiadającą sumie $a+\bar{x}+\bar{y}$; lepiej jednak utworzyć z nich podgrupę większą, obejmującą cały trzeci wiersz a więc reprezentującą wyraz $\bar{x}+\bar{y}$. Z wyrazów, odpowiadających podgrupom zerowym tworzy się teraz iloczyn, będący poszukiwanym wyrażeniem strukturalnym $(\bar{b}+x)\,(a+\bar{y})\,(\bar{x}+\bar{y})$. Wykonując mnożenie sum w drugim i trzecim nawiasie otrzymuje się ostateczną postać zredukowaną $(\bar{b}+x)\,(\bar{y}+\bar{a}\bar{x})$ która wyznacza obwód, przedstawiony na rys. 69e.

Tym razem różnica między obwodem uzyskanym z wyrażenia otrzymanego z podgrup jedynkowych, a układem wyznaczonym przez podgrupy zerowe jest zupełnie wyraźna, obwód wyznaczony przez podgrupy zerowe ma o jeden zestyk mniej. Oczywiście w wyrażeniach złożonych z podgrup jedynkowych można uzyskać redukcję jednego zestyku, wymaga to jednak pewnej intuicji, podczas gdy podgrupy zerowe od razu wyznaczyły obwód najoszczędniejszy. Przekształcenie pozwalające na zredukowanie jednej litery w wyrażeniu złożonym z podgrup jedynkowych otrzymamy, jeśli do nie zredukowanej sumy iloczynów dodać wyraz $\bar{a}\bar{x}x$ (można to uczynić, ponieważ $\bar{a}\bar{x}x=0$). Będzie wtedy $\bar{a}\bar{b}\bar{x}+\bar{a}\bar{x}x+x\bar{y}+\bar{b}\bar{y}=\bar{a}\bar{x}\,(\bar{b}+x)+\bar{y}\,(\bar{b}+x)=(\bar{b}+x)(\bar{y}+\bar{a}\bar{x})$. W ten sposób drogą przekształceń otrzymano wyrażenie złożone z podgrup zerowych, identyczne z wyrażeniem uzyskanym z siatki przedstawionej na rys. 69d.

Na przykładzie tym można zaobserwować słuszność stwierdzeń, że łatwiej jest przeprowadzić minimalizację wyrażenia strukturalnego na drodze ustalania podgrup w odwzorowaniu graficznym niż na drodze przekształceń algebraicznych oraz że celowe jest ustalenie obu wyrażeń dla danego obwodu, zarówno złożonego z podgrup jedynkowych, jak i zerowych, gdyż z góry nie wiadomo, czy jedno z nich nie da od razu wyrażenia oszczędniejszego.

Przykład 3. W rozpatrywanym odwzorowaniu (rys. 70) znajduje się tylko jedno pole, które może wchodzić w skład tylko jednej podgrupy: pole **1**, tworzące z polem **9** podgrupę $\bar{b}\bar{x}y$. Po zakreśleniu wymienionej podgrupy można stwierdzić, że zgodnie z zasadą a) obecnie trzeba wziąć pod uwagę pole **8**. Nie będzie ono bowiem kojarzone obecnie z polem **9** już objętym przez podgrupę $\bar{b}\bar{x}y$, lecz z polem **10**, z którym tworzy ono podgrupę $a\bar{b}\bar{y}$. Pozostają cztery pola w środkowej dolnej części siatki, tworzące wyraźną podgrupę czteropolową bx. Po zsumo-

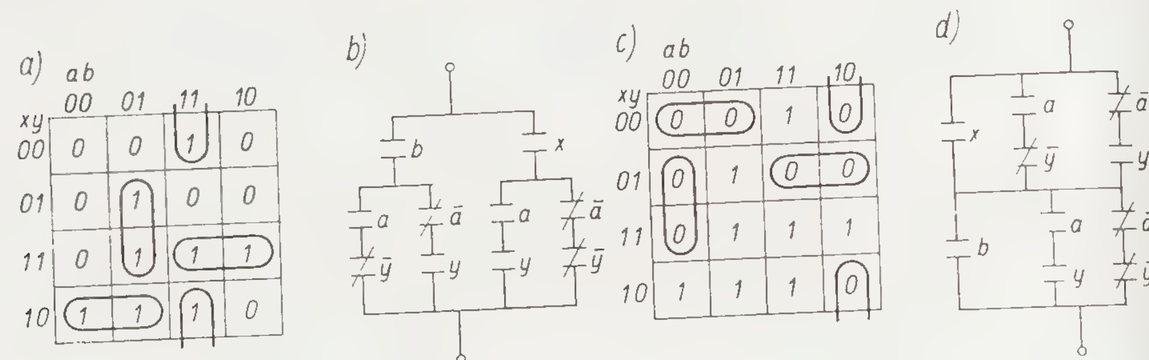


Rys. 70. Przykład 3 ustalania struktury obwodu zestykowego

waniu otrzymanych iloczynów i wyniesieniu z pierwszych dwóch wyrazów litery $\bar{b}$ przed nawias otrzymujemy wyrażenie strukturalne, złożone z podgrup jedynkowych $\bar{b}\bar{x}y+a\bar{b}\bar{y}+bx = \bar{b}(a\bar{y}+\bar{x}y)+bx$. Na rys. 70b przedstawiono schemat wyznaczony przez to wyrażenie.

Przechodząc do ustalenia podgrup zerowych (rys. 70c) widać, że pole **11** może wchodzić w skład tylko jednej podgrupy $b+\bar{x}+\bar{y}$. Następną podgrupę, również dwupolową, tworzą narożne pola, leżące w pierwszej kolumnie. Podgrupę tę określa suma $a+b+y$. Pozostałe cztery pola tworzą podgrupę $\bar{b}+x$. Z sum określających ustalone podgrupy tworzy się iloczyn $(b+\bar{x}+\bar{y})(a+b+y)(\bar{b}+x)$. Iloczyn ten można zredukować przemnażając przez siebie dwie pierwsze sumy, posiadające wspólny wyraz b, $[b+(\bar{x}+\bar{y})(a+y)](\bar{b}+x)$. Schemat odpowiedniego obwodu przedstawiono na rys. 70d.

Przykład 4. W siatce pokazanej na rys. 71a można od razu spostrzec cztery pola **6, 7, 14, 15**, tworzące kwadrat, a więc podgrupę, określaną przez dwie litery. Gdyby jednak rozpocząć ustalanie podgrup od tego kwadratu, nie otrzymałoby się w rezultacie wyrażenia złożonego z minimalnej liczby liter. Odwzo-



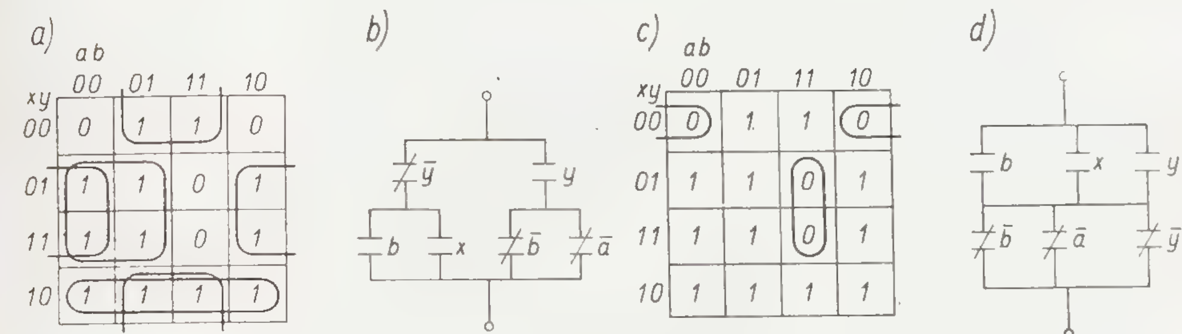
Rys. 71. Przykład 4 ustalania struktury obwodu zestykowego

rowywanie nakładu trzeba zawsze rozpoczynać od pól, które mogą wchodzić do jednej tylko podgrupy. W rozpatrywanym obecnie przykładzie takie pola są cztery: **2, 5, 12** i **11**, wchodzące odpowiednio w skład dwupolowych podgrup $\bar{a}x\bar{y}$, $\bar{a}by$, $ab\bar{y}$ i axy. Po zakreśleniu na siatce obszarów zajmowanych przez te podgrupy można stwierdzić, że wszystkie pola odpowiadające wartości 1 odwzorowanej funkcji zostały już uwzględnione, nie trzeba więc dopisywać iloczynu bx, odpowiadającego wspomnianemu wyżej kwadratowi. Otrzymuje się więc wyrażenie strukturalne, które w postaci nie zredukowanej stanowi sumę iloczynów $\bar{a}x\bar{y}+\bar{a}by+ab\bar{y}+axy$, a które można faktoryzować wynosząc przed nawias np. $\bar{a}$ z pierwszych dwóch wyrazów oraz a z dwóch następnych, albo x z pierwszego i czwartego oraz b z drugiego i trzeciego, wreszcie $\bar{y}$ z pierwszego i trzeciego oraz y z drugiego i czwartego. O wyborze wariantu decyduje z reguły liczba stojących do dyspozycji zestyków poszczególnych łączników. Na rys. 71b przedstawiono schemat obwodu w wariancie odpowiadającym wyrażeniu strukturalnemu z wyniesionymi przed nawias literami b i x.

Ustalanie podgrup zerowych (rys. 71c) również rozpoczyna się od określenia pól, którym przysługuje pierwszeństwo przy tworzeniu podgrup według zasady a). Są to pola **3, 4, 10** i **13**, wyznaczające podgrupy zerowe $(a+b+\bar{y})$, $(a+x+y)$, $(\bar{a}+b+y)$ i $(\bar{a}+x+\bar{y})$. Otrzymuje się wyrażenie strukturalne, które, podobnie jak przy podgrupach jedynkowych, można różnie uprościć, wymnażając przez siebie, albo sumę pierwszą przez drugą, a trzecią przez czwartą, albo

pierwszą przez trzecią, a drugą przez czwartą, albo wreszcie pierwszą przez czwartą, a drugą przez trzecią. Wybierając drugi z tych wariantów otrzymuje się $(a+b+\bar{y})(a+x+y)(\bar{a}+b+y)(\bar{a}+x+\bar{y}) = [b+(a+\bar{y})(\bar{a}+y)][x+(\bar{a}+\bar{y})(a+y)]$. Wyrażenie to jest wyrażeniem zminimalizowanym, które wyznacza szukaną postać obwodu. Można jednak jeszcze wykonać przekształcenie otrzymanego wyrażenia, przemnażając przez siebie wyrazy w małych nawiasach. Otrzymuje się wtedy $(b+ay+\bar{a}\bar{y})(x+a\bar{y}+\bar{a}y)$, według którego to wyrażenia został narysowany schemat obwodu na rys. 71d. Należy zwrócić uwagę na ciekawą analogię między obu postaciami obwodu (rys. 71b i 71 d): szeregowo-równoległe podobwody, każdy złożony z czterech zestyków, pozostały w obu obwodach takie same, a zestyki x i b zmieniły jedynie swe połączenia z podobwodami z połączenia szeregowego na równoległe, zmieniając przy tym także między sobą podobwody. Analogia ta zostanie wyjaśniona w następnym rozdziale.

Przykład 5. Na rys. 72a przedstawiono odwzorowanie funkcji, dla którego decyzja co do kolejności ustalania podgrup jedynkowych jest trudniejsza niż poprzednio. Polem wchodzącym do jednej tylko podgrupy czteropolowej



Rys. 72. Przykład 5 ustalania struktury obwodu zestykowego

jest pole **12**. Rozpoczynając rozważania od tego pola określi się podgrupę $b\bar{y}$. Drugim polem, równorzędnym tamtemu pod względem zdolności kojarzenia z innymi polami w podgrupy, jest nieco trudniejsze do odkrycia pole **9** wyznaczające następną podgrupę $\bar{b}y$. Po ustaleniu tych dwóch podgrup pozostają cztery pola, z których pola **5** i **7** mogą wejść albo do podgrupy $\bar{a}y$, albo też — $\bar{a}b$, pola zaś **2** i **10** albo do podgrupy $x\bar{y}$, albo też — $\bar{b}x$. Daje to cztery warianty szukanego wyrażenia strukturalnego: 1) $b\bar{y}+\bar{b}y+\bar{a}y+xy$; 2) $b\bar{y}+\bar{b}y+\bar{a}y+\bar{b}x$; 3) $b\bar{y}+\bar{b}y+\bar{a}b+x\bar{y}$; 4) $b\bar{y}+\bar{b}y+\bar{a}b+\bar{b}x$. Mimo pozornej całkowitej równorzędności tych czterech wariantów dają one ostatecznie, po dokonaniu redukcji algebraicznej, dwa różne wyniki. W wariancie pierwszym i czwartym można z dwóch par iloczynów wynieść przed nawias po jednej literze, otrzymując w rezultacie wyrażenia sześcioliterowe, podczas gdy w wariancie drugim i trzecim wynieść przed nawias można jedynie literę w jednej parze iloczynów. Tak więc z wariantu pierwszego otrzymuje się $\bar{y}(b+x)+y(\bar{b}+\bar{a})$, z czwartego $b(\bar{a}+\bar{y})+\bar{b}(x+y)$, a z drugiego zaś $y(\bar{a}+\bar{b})+b\bar{y}+\bar{b}x$ oraz z trzeciego $b(\bar{a}+\bar{y})+\bar{b}y+x\bar{y}$. Na rys. 72b przedstawiono schemat obwodu odpowiadający pierwszemu wariantowi po przeprowadzeniu faktoryzacji.

Tę samą funkcję można łatwo wyrazić za pomocą podgrup zerowych (rys. 72c). Występują wtedy jedynie dwie podgrupy dwupolowe $(b+x+y)(\bar{a}+\bar{b}+\bar{y})$, wyznaczające obwód przedstawiony na rys. 72d. Wyraźna różnica w stopniu trudności

między ustaleniem wyrażenia strukturalnego w podgrupach jedynkowych i zerowych wynika z prostego faktu, że pól jedynkowych w tym odwzorowaniu jest znacznie więcej, niż pól zerowych. Nie znaczy to jednak, że wyrażenie strukturalne złożone z podgrup tego typu, do jakiego należy mniejsza liczba pól odwzorowania, daje zawsze lepsze, czy choćby równoważne rozwiązanie. Można się niejednokrotnie spotkać z odmiennymi przypadkami, np. w przykładzie 6.

1.2. Podgrupy niepełne

Gdyby w poprzednim przykładzie wykorzystać jedynkowe podgrupy niepełne, można by było uzyskać od razu najprostszy wariant wyrażenia strukturalnego. Nazwą p o d g r u p y n i e p e ł n e będziemy określali podgrupy, które można wyznaczyć za pomocą stosunkowo niewielu liter i które są złożone w większości — lecz nie wyłącznie — z elementarnych pól jedynkowych. Jedną z takich podgrup w odwzorowaniu przedstawionym na rys. 72a tworzą wiersze: drugi i trzeci. Podgrupę tę określa litera y. Aby nie zmieniać funkcji przejścia szukanego obwodu, z podgrupy trzeba usunąć dwa pola zerowe, tworzące podgrupę zerową $\bar{a}+\bar{b}+\bar{y}$, mnożąc przez to wyrażenie literowe wyrażenie niepełnej podgrupy jedynkowej y: $y\,(\bar{a}+\bar{b}+\bar{y})$. Skreślając w nawiasie literę $\bar{y}$ (na podstawie wzoru 18a) otrzymuje się wyrażenie uproszczone $y\,(\bar{a}+\bar{b})$. Jest ono iloczynem niepełnej podgrupy jedynkowej y i podgrupy zerowej $(\bar{a}+\bar{b})$. Ta ostatnia obejmuje całą trzecią kolumnę siatki (rys. 72a).

Otrzymany wynik prowadzi do wniosku, że wyrażenie niepełnej podgrupy jedynkowej można sprowadzić do wyrażenia odpowiadającego wszystkim polom jedynkowym tej podgrupy, mnożąc jej wyrażenie literowe przez wyrażenie literowe podgrupy zerowej, obejmującej pola zerowe podgrupy niepełnej. Ta podgrupa zerowa może obejmować również dowolne pola (jedynkowe i zerowe), leżące poza obszarem podgrupy niepełnej.

Do określenia wyrażenia strukturalnego, odpowiadającego polom ze stanem 1, leżącym wewnątrz niepełnej podgrupy jedynkowej φ, można wykorzystać geometryczną interpretację odwzorowania funkcji. Niech będzie dana funkcja *Boole'a* F (w omówionym wyżej przykładzie 5 funkcją tą była $F = b\bar{y}+x\bar{y}+\bar{b}y+\bar{a}y$) oraz niepełna podgrupa jedynkowa φ. Obszar tych pól leżących wewnątrz niepełnej podgrupy φ, w którym $F = 1$, można potraktować jako podgrupę φ, od której odjęto podgrupę ψ, obejmującą pola zerowe podgrupy φ. Takie odejmowanie podgrup można zanotować jako $\varphi-\psi$. W przykładzie, omawianym na początku tego paragrafu i dotyczącym pól ze stanem 1 w drugim i trzecim wierszu siatki (rys. 72a), podgrupie φ odpowiada podgrupa y, podgrupie zaś ψ — podgrupa ab. W tym konkretnym przypadku różnicy $\varphi-\psi$ odpowiada więc różnica $y-ab$, $(\varphi-\psi = y-ab)$. Zapis taki należy odczytać jako „y z wyłączeniem ab" („φ z wyłączeniem ψ"), co zgodnie z definicją negacji można napisać $y-ab = y\,(\bar{a}+\bar{b})$ oraz w postaci ogólnej

$$\varphi-\psi = \varphi\bar{\psi} \tag{19}$$

W odwzorowaniu na rys. 72a można było jako niepełną podgrupę φ przyjąć również obszar całej siatki bez dwóch górnych naroży, a wtedy $\varphi = b+x+y$. Od tej dużej podgrupy należy odjąć leżące wewnątrz niej dwa pola zerowe ($\psi = aby$). Wtedy $F = \varphi-\psi = \varphi\bar{\psi} = (b+x+y)\,(\bar{a}+\bar{b}+\bar{y})$.

Lewa strona wzoru (19) jest umownym zapisem pewnego obszaru odwzorowania *Karnaugha*, traktowanego jako geometryczna różnica dwóch podgrup. Wzór (19) określa, w jaki sposób z takiego umownego zapisu można otrzymać

wyrażenie algebry *Boole'a*, określające ten obszar odwzorowania. Można się również spotkać z traktowaniem wzoru (19) jako definicji pojęcia „odejmowanie" w algebrze *Boole'a*. Nie jest to jednak słuszne, ponieważ odejmowanie dotyczy nie wyrażeń algebry *Boole'a*, lecz tylko pól odwzorowania.

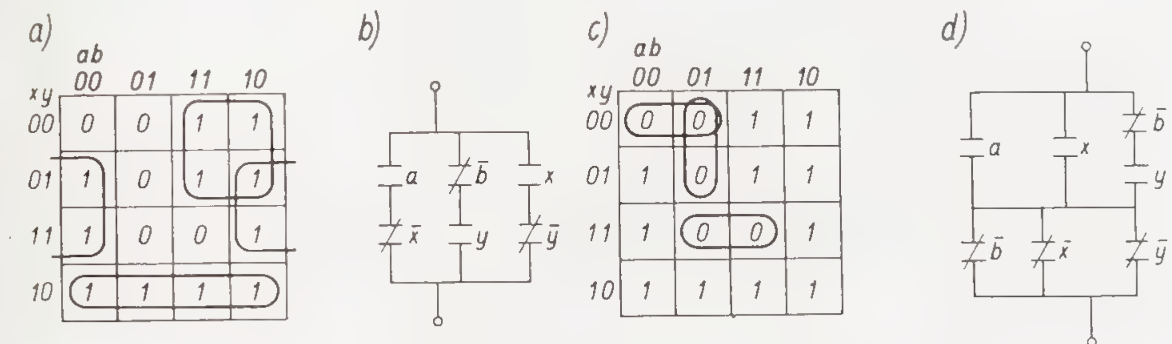
Przy wykorzystywaniu wzoru (19) do przypadku ustalania wyrażenia strukturalnego, złożonego z podgrup zerowych, należy przeprowadzić negację jego prawej strony $\overline{(\varphi\bar{\psi})} = \bar{\varphi}+\psi$, ponieważ wyraz odpowiadający danej podgrupie zerowej jest negacją wyrazu, określającego ten sam obszar odwzorowania traktowany jako podgrupa jedynkowa.

Aby więc uzyskać wyrażenie, obejmujące pola zerowe niepełnej podgrupy zerowej, należy do wyrazu określającego podgrupę zerową ($\bar{\varphi}$) dodać wyraz (lub wyrazy) określające podgrupy jedynkowe, które obejmują pola ze stanem 1, leżące wewnątrz podgrupy zerowej $\bar{\varphi}$. Tak np. siedem pól ze stanem 0, leżącym w drugim i trzecim wierszu odwzorowania (rys. 69) można potraktować jako niepełną podgrupę zerową $\bar{\varphi} = \bar{y}$, do której należy dodać jeszcze podgrupę jedynkową $\bar{a}b\bar{x}$, obejmującą jedyne pole ze stanem 1 (pole $\bar{a}b\bar{x}\bar{y}$), leżące wewnątrz niepełnej podgrupy zerowej $\bar{\varphi}$.

W wyrażeniu funkcji złożonym z podgrup zerowych te siedem pól ze stanem 0 zostanie zatem uwzględnione w postaci członu $\bar{y}+\bar{a}b\bar{x}$. W rezultacie otrzyma się wyrażenie strukturalne $(\bar{b}+x)\,(\bar{y}+\bar{a}b\bar{x})$.

Należy zapamiętać, że w wyrażeniu strukturalnym, złożonym z podgrup jedynkowych lub z podgrup zerowych wystarczy, aby każde pole jedynkowe lub zerowe było uwzględnione chociaż w jednej z podgrup. W przykładzie odwzorowania przedstawionym na rys. 69 d pole zerowe **5** zostało uwzględnione w podgrupie $\bar{b}+x$, do niepełnej podgrupy $\bar{y}$ można więc dodać nie tylko pole **1**, lecz również pole **5** i napisać $\bar{y}+\bar{a}\bar{x}$, otrzymując w rezultacie wyrażenie strukturalne $\bar{b}+x)\,(\bar{y}+\bar{a}\bar{x})$, identyczne z otrzymanym w przykładzie 4.

P r z y k ł a d 6. W odwzorowaniu przedstawionym na rys. 73a i c jest jedenaście pól jedynkowych a tylko pięć zerowych. Mimo to z podgrup jedynkowych otrzymuje się wyrażenie strukturalne o mniejszej liczbie liter, niż wyraże-



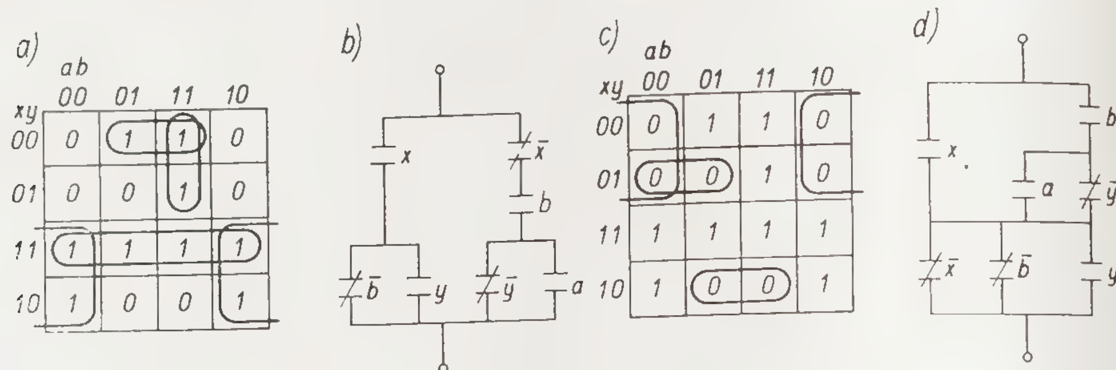
Rys. 73. Przykład 6 ustalania struktury obwodu zestykowego

nie złożone z podgrup zerowych. Istotnie, przystępując do wyznaczania podgrup jedynkowych i rozpoczynając, zgodnie z przyjętymi zasadami, od pola **1**, wchodzącego do podgrupy $\bar{b}y$, można bez trudu ustalić dwie pozostałe podgrupy $a\bar{x}$ oraz $x\bar{y}$. Otrzymuje się w rezultacie sześcioliterowe wyrażenie strukturalne $\bar{b}y+a\bar{x}+x\bar{y}$, wyznaczające obwód przedstawiony na rys. 73b.

Wyznaczenie podgrup zerowych jest łatwiejsze, ponieważ w odwzorowaniu występuje mniej pól zerowych, niż jedynkowych. Na odwzorowaniu zaznaczono

podgrupy zerowe $a+x+y$; $\bar{b}+\bar{x}+\bar{y}$ oraz podgrupę $a+\bar{b}+x$ obejmującą pole zerowe **5**, nie uwzględnione w podgrupach poprzednich. To pole **5** można również objąć podgrupą $a+\bar{b}+\bar{y}$. Szukane wyrażenie strukturalne może więc mieć albo postać $(a+x+y)(b+\bar{x}+\bar{y})(a+\bar{b}+x)$, albo też $(a+x+y)(\bar{b}+\bar{x}+\bar{y})(a+\bar{b}+\bar{y})$. Na rys. 73d przedstawiono obwód, odpowiadający pierwszemu z tych wyrażeń.

Przykład 7. Ustalić wyrażenia strukturalne według odwzorowania podanego na rys. 74a.



Rys. 74. Przykład 7 ustalania struktury obwodu zestykowego

Przy ustalaniu wyrażenia strukturalnego złożonego z podgrup jedynkowych wykorzystać można niepełną podgrupę $b\bar{x}$. Prowadzi to do wyrażenia strukturalnego w postaci $(b\bar{x}-\bar{a}y)+xy+\bar{b}x=b\bar{x}(a+\bar{y})+x(\bar{b}+y)$, wyznaczającego obwód przedstawiony na rys. 74b.

Dla podgrup zerowych można od razu napisać (rys. 74c)

$$(b+x)(a+x+\bar{y})(\bar{b}+\bar{x}+y)=[x+b(a+\bar{y})](\bar{b}+\bar{x}+y)$$

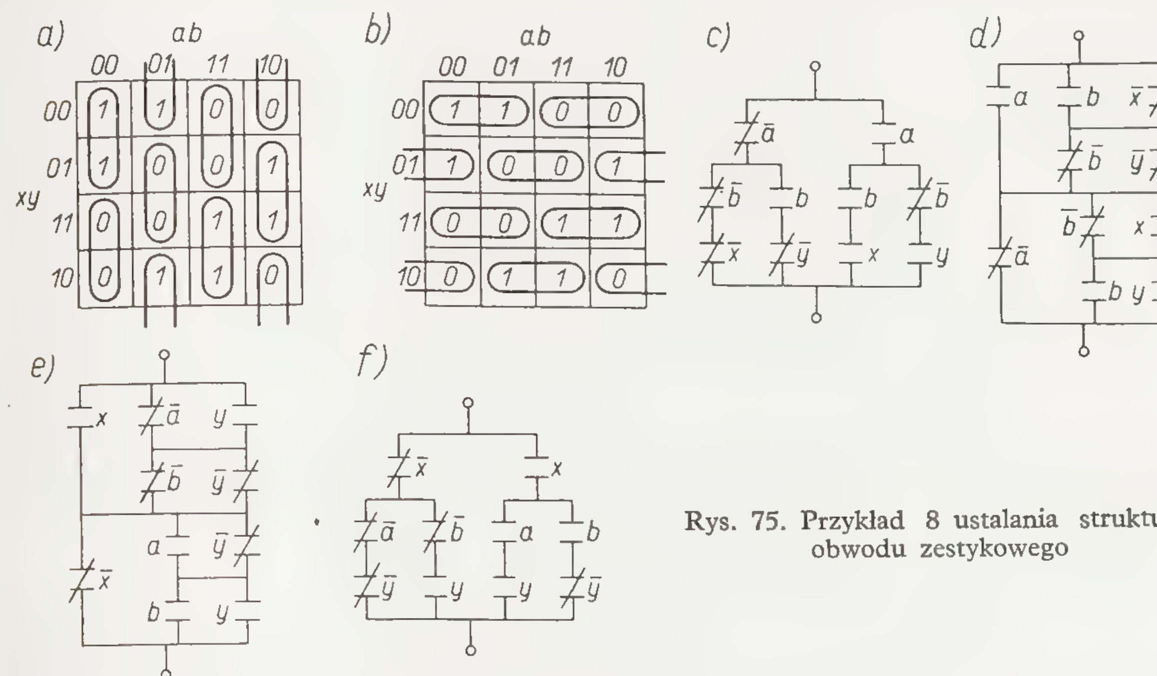
Schemat obwodu, odpowiadający temu wyrażeniu, podano na rys. 74d.

Przykład 8. Ciekawy przykład podano na rys. 75a. Pola jedynkowe i pola zerowe są tak rozmieszczone, że można je grupować albo w dwupolowe podgrupy usytuowane poziomo, albo pionowo, można więc otrzymać po dwa warianty wyrażeń strukturalnych złożonych z podgrup jedynkowych i zerowych. Aby nie rysować czterech identycznych siatek odwzorowań podgrupy jedynkowe i zerowe będą ustalone na jednej siatce. Na siatce *a* (rys. 75a) wprowadzono usystematyzowanie pól w podgrupy ułożone pionowo. Zarówno podgrup jedynkowych jak i zerowych jest po cztery. Z podgrup jedynkowych otrzymuje się wyrażenie strukturalne $\bar{a}\bar{b}\bar{x}+\bar{a}b\bar{y}+abx+a\bar{b}y=\bar{a}(\bar{b}\bar{x}+b\bar{y})+a(bx+\bar{b}y)$, wyznaczające obwód przedstawiony na rys. 75 c. Podgrupy zerowe zaś wyznaczają wyrażenia strukturalne $(a+b+\bar{x})(a+\bar{b}+\bar{y})(\bar{a}+\bar{b}+x)(\bar{a}+b+y)=$ $=[a+(b+\bar{x})(\bar{b}+\bar{y})][\bar{a}+(\bar{b}+x)(b+y)]$ określające obwód przedstawiony na rys. 75d

Podobnie z podgrup jedynkowych ułożonych poziomo otrzymuje się wyrażenie strukturalne $\bar{a}\bar{x}\bar{y}+\bar{b}\bar{x}y+axy+bx\bar{y}=\bar{x}(\bar{a}\bar{y}+\bar{b}y)+x(ay+by)$. Odpowiedni obwód przedstawiono na rys. 75f.

Wreszcie z ułożonych poziomo podgrup zerowych otrzymuje się wyrażenie strukturalne $(\bar{a}+x+y)(\bar{b}+x+\bar{y})(a+\bar{x}+\bar{y})(b+\bar{x}+y)=[x+(\bar{a}+y)(\bar{b}+\bar{y})][\bar{x}+(a+\bar{y})(b+y)]$, wyznaczające obwód, jak na rys. 75e.

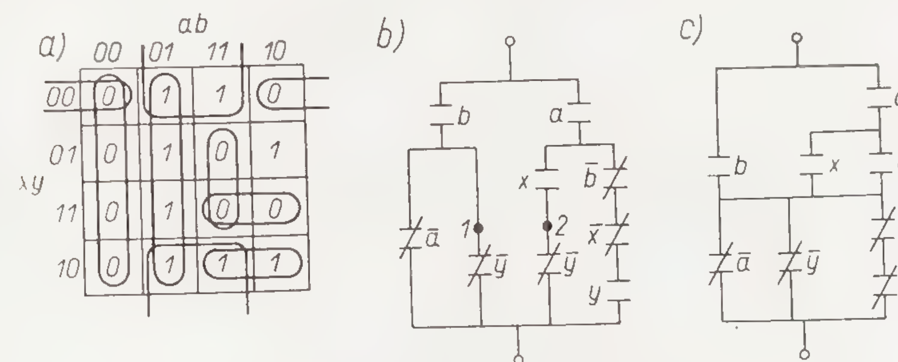
Oba warianty obwodów złożonych z podgrup jedynkowych, zarówno jak i oba warianty obwodów złożonych z podgrup zerowych są strukturalnie całkowicie równoważne. Wynika to z doskonałej symetrii rozmieszczenia pól zerowych i pól jedynkowych na siatce *Karnaugha*.



Rys. 75. Przykład 8 ustalania struktury obwodu zestykowego

We wszystkich dotychczas rozpatrzonych przykładach każde pole jedynkowe i każde pole zerowe wchodziło w skład podgrupy, złożonej przynajmniej z dwóch pól. W praktyce spotykamy się niejednokrotnie z odwzorowaniami, w których będą występowały pola, nie dające się połączyć w podgrupę z żadnymi innymi polami. W takich przypadkach wyodrębnia się najpierw pola samotne, a następnie przystępuje się do ustalania podgrup złożonych z pozostałych pól, kierując się w dalszym ciągu podanymi uprzednio zasadami.

Przykład 9. W przykładzie tym zostanie omówiony tok rozumowania przy odwzorowywaniu układu z jednym polem nie wchodzącym do żadnej podgrupy (rys. 76a). Polem tym jest pole **9** reprezentujące iloczyn $a\bar{b}\bar{x}\bar{y}$. Po wydzieleniu



Rys. 76. Przykład 9 ustalania struktury obwodu zestykowego

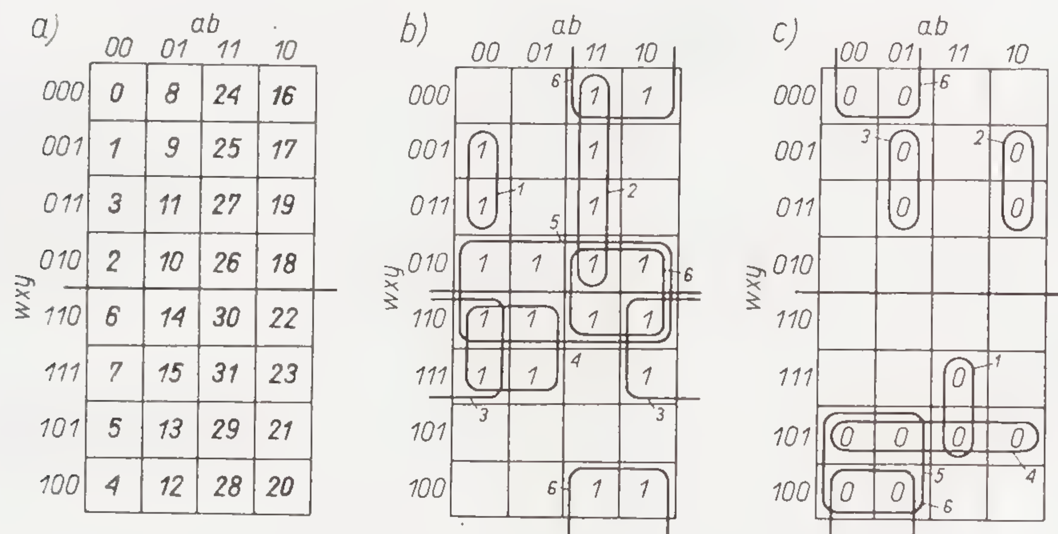
tego pola jako podgrupy jednopolowej formowanie następnych podgrup rozpoczyna się od pola **10**, wchodzącego do podgrupy $ax\bar{y}$. Pozostałe pola jedynkowe można ująć w dwie podgrupy $b\bar{y}$ i $\bar{a}b$. W rezultacie otrzymuje się następujące

wyrażenie strukturalne, złożone z podgrup jedynkowych $a\bar{b}\bar{x}y+ax\bar{y}+b\bar{y}+\bar{a}b = a(\bar{b}xy+x\bar{y})+b(\bar{y}+\bar{a})$ (rys. 76b). Przy wyznaczaniu podgrup zerowych nie ma pól, nie dających się włączyć do żadnej podgrupy. Trzy podgrupy dwupolowe i jedna czteropolowa zostały na rys. 76 a wydzielone, wyznaczają one wyrażenie strukturalne $(\bar{a}+\bar{x}+\bar{y})(\bar{a}+\bar{b}+\bar{y})(b+x+y)(a+b) = [b+a(x+y)](\bar{a}+\bar{y}+\bar{b}x)$. Schemat obwodu wyznaczonego przez to wyrażenie strukturalne przedstawiony jest na rys. 76c. Ponieważ układ podgrup zerowych na siatce jest prostszy od układu podgrup jedynkowych, dał on obwód o mniejszej liczbie zestyków. Jednak, jak zostanie opisane w dalszej części tego rozdziału, obwód oparty na podgrupach jedynkowych również można zredukować do ośmiu zestyków, łącząc ze sobą przewód *1* (rys. 76 b) z przewodem *2*.

Obecnie rozpatrzone będą przykłady ustalania wyrażeń strukturalnych w przypadku większej liczby zmiennych niż cztery.

W celu ułatwienia śledzenia wyjaśnień na rys. 77a podano siatkę 32-polową z polami oznaczonymi według ustalonego poprzednio kodu dziesiętnego.

Przykład 10. Rys. 77b przedstawia odwzorowanie funkcji pięciu zmiennych, dla której należy znaleźć wyrażenie strukturalne złożone z podgrup jedynkowych. Aby nie zaciemniać rysunku, pominięto na nim oznaczenia pól zerowych,



Rys. 77. Przykład 10 ustalania struktury obwodu zestykowego

Natomiast podgrupy ponumerowano kolejno. Polami, z których każde wchodzi do jednej tylko podgrupy, są pola **1** i **25**. Odpowiednie podgrupy oznaczono numerami *1* i *2*. Ponieważ obie te podgrupy leżą w górnej połowie siatki, która obejmuje szesnaście pól, a więc w siatce rozpatrywanego już typu, łatwo można ustalić iloczyny, określające te podgrupy. Jako pierwszą literę, oznaczającą górną połowę siatki przyjmuje się $\bar{w}$, a pozostałe litery ustala się już dla siatki szesnastopolowej. Będą to iloczyny zmiennych a, b, x, y. Pierwsza podgrupa odpowiada iloczynowi $\bar{a}\bar{b}y$, druga zaś — iloczynowi ab. Dodając literę $\bar{w}$, otrzymuje się ostatecznie dla pierwszej podgrupy iloczyn $\bar{a}\bar{b}\bar{w}y$, dla drugiej — $ab\bar{w}$. Po nabyciu pewnej wprawy można od razu ustalić pełny iloczyn, odpowiadający podgrupie jedynkowej, mieszczącej się całkowicie w jednej połówce siatki, lub też ustalić sumy odpowiadające podgrupom zerowym.

Przy wyznaczaniu wyrazów określających podgrupy trzecią i czwartą, mieszczące się całkowicie wewnątrz jednej (tym razem dolnej) połowy siatki, wyróżniającej się literą w w iloczynie, można potraktować pierwszy i drugi wiersz dolnej połowy siatki jako niepełną podgrupę jedynkową wx, od której odjęto pola trzeciej kolumny (ab). A zatem wyrażeniem odpowiadającym podgrupom *3* i *4* będzie $wx-ab = wx(\bar{a}\bar{b}) = wx(\bar{a}+\bar{b})$.

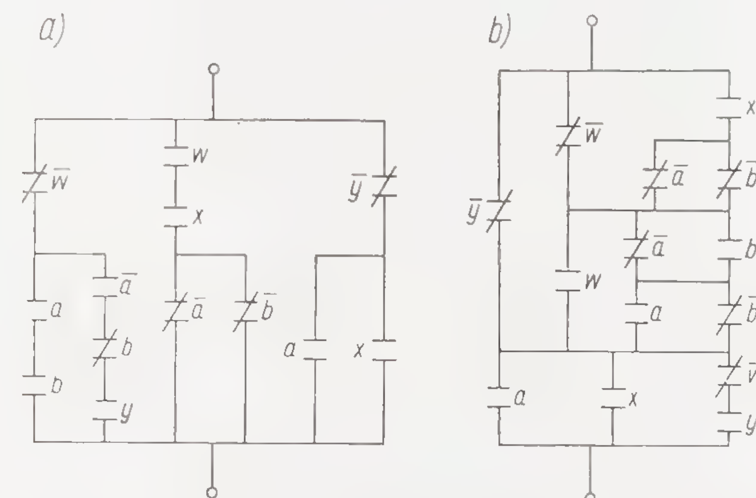
Następne podgrupy leżą już w obu połówkach siatki. Do właściwego wyznaczania tych podgrup należy ustalić, czy pola podgrupy są rozmieszczone symetrycznie względem osi, dzielącej na połowy ośmiopolowy bok siatki.

Pola **2**, **6**, **10**, **14**, **18**, **22**, **26** i **30** są rozłożone symetrycznie względem poziomej osi symetrii i tworzą podgrupę ośmiopolową, oznaczoną numerem *5*. Zajmują one całą szerokość siatki, a zatem w ich wyrażeniu algebraicznym nie będą występowały zmienne, reprezentowane przez kolumny. Symetryczne położenie względem osi poziomej oznacza, że oś ta dzieli podgrupę na części różniące się stanem jednej zmiennej w. Zmienna ta również nie wystąpi w algebraicznym wyrażeniu podgrupy. Pozostają zmienne x i y, z których $x = 1$, $y = 0$, a więc podgrupę *5* określa wyrażenie $x\bar{y}$.

Ustalone pięć podgrup nie objęło pól **16**, **20** i **28**. Łatwo spostrzec, że pola te wchodzą w skład czteropolowej podgrupy (**16**, **20**, **24**, **28**), leżącej całkowicie w prawej połowie siatki, reprezentującej literę a. Uważniejsze spojrzenie pozwoli stwierdzić, że w tej połowie siatki wszystkie pola, dla których $y = 0$, mają stan 1, a więc tworzą one podgrupę ośmiopolową Σ (**16**, **18**, **20**, **22**, **24**, **26**, **28**, **30**), którą oznaczono numerem *6*. Z podanych wyjaśnień wynika, że wyrazem określającym poszukiwaną podgrupę jest iloczyn $a\bar{y}$, a całe wyrażenie strukturalne ma postać $\bar{a}\bar{b}\bar{w}y+ab\bar{w}+wx(\bar{a}+\bar{b})+x\bar{y}+a\bar{y} = \bar{w}(ab+\bar{a}\bar{b}y)+wx(\bar{a}+\bar{b})+\bar{y}(a+x)$.

Podział na podgrupy zerowe można uzyskać bez trudu (rys. 77c) $(\bar{a}+\bar{b}+\bar{w}+\bar{y})(\bar{a}+b+w+\bar{y})(a+\bar{b}+w+\bar{y})(\bar{w}+x+y)(a+\bar{w}+x)(a+x+y)$. Sumy pierwsza i czwarta dają po przemnożeniu $\bar{w}+\bar{y}+x(\bar{a}+\bar{b})$; druga i trzecia dają $w+\bar{y}+(\bar{a}+b)(a+\bar{b})$, wreszcie piąta i szósta wyznaczają $a+x+\bar{w}y$. Z tych trzech wyrażeń w pierwszym i drugim powtarza się litera $\bar{y}$, po przemnożeniu otrzymuje się więc ostateczną postać szukanego wyrażenia strukturalnego w podgrupach zerowych $\{\bar{y}+[\bar{w}+x(\bar{a}+\bar{b})][w+(\bar{a}+b)(a+\bar{b})]\}(a+x+\bar{w}y)$. Wyrażenie to zawiera o jedną literę więcej niż otrzymane z podgrup jedynkowych.

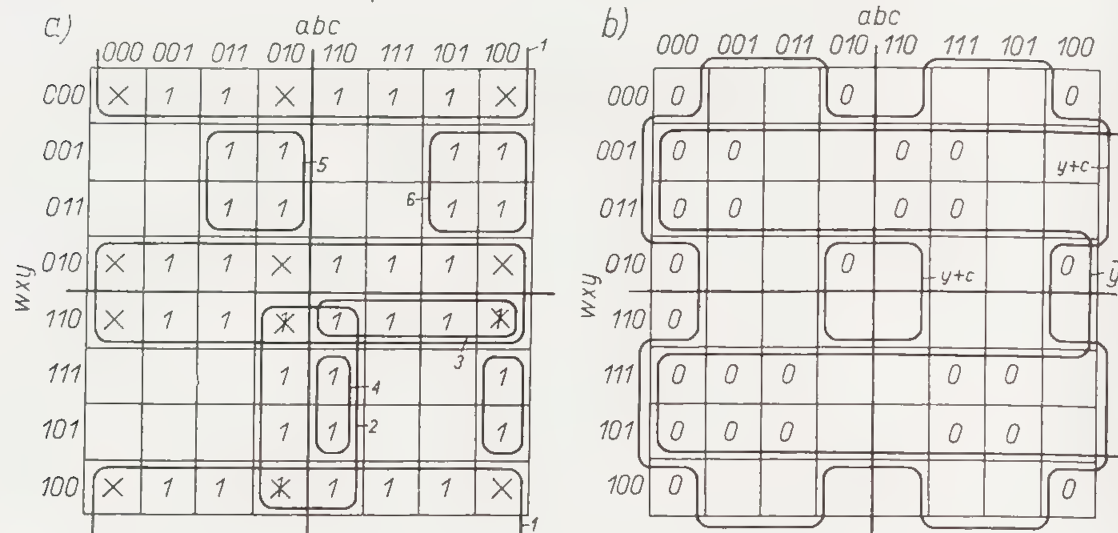
Na rysunku 78 a i b przedstawiono oba warianty obwodów odpowiadających znalezionym wyrażeniom strukturalnym.



Rys. 78. Obwody, ustalone na podstawie odwzorowania przedstawionego na rys. 77

Przykład 11. Na rys. 79 przedstawiono odwzorowanie funkcji sześciu zmiennych a, b, c, w, x i y.

Aby ustalić, które z pól wchodzą tylko do jednej podgrupy, rozpatruje się rozmieszczenie pól jedynkowych (rys. 79a). W tym przykładzie każde pole można zaliczyć przynajmniej do jednej z dwóch podgrup, ale można również spostrzec, że



Rys. 79. Ustalanie wyrażenia strukturalnego na podstawie odwzorowania na siatce 64-polowej

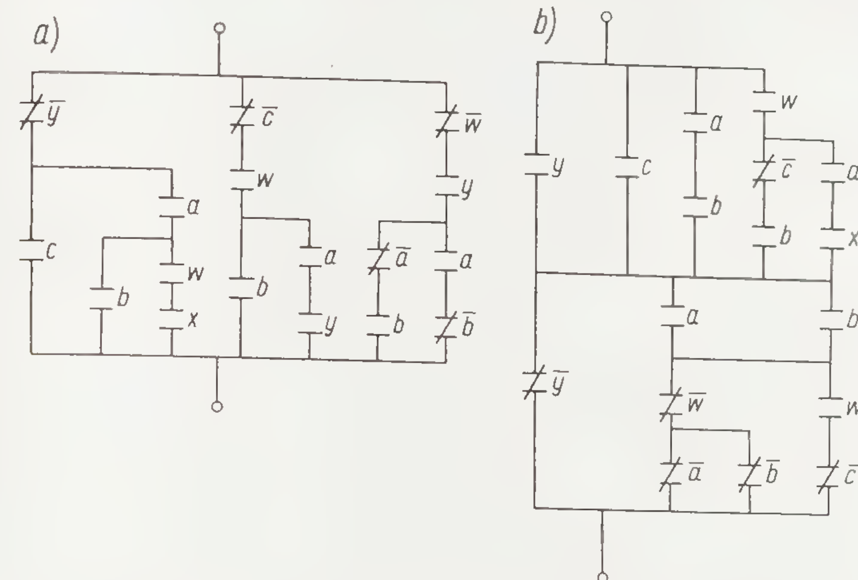
najwięcej pól jedynkowych znajduje się w czterech wierszach: pierwszym, czwartym, piątym i ósmym, tworzących podgrupę wierszy odpowiadającą literze $\bar{y}$. Można próbować określić tę podgrupę wierszy wykorzystując niepełną podgrupę $\bar{y}$. Jeśli od pól należących do wspomnianych czterech wierszy odjąć pola leżące w trzech kolumnach: pierwszej, czwartej i ósmej, to w wierszach $\bar{y}$ pozostaną wyłącznie pola jedynkowe. Kolumny pierwsza i czwarta reprezentują iloczyn $\bar{a}\bar{c}$, kolumny zaś pierwsza i ósma — iloczyn $\bar{b}\bar{c}$. Pola jedynkowe rozmieszczone w czterech wierszach odpowiadających literze $\bar{y}$ (wiersze te na rys. 79a obwiedziono jako niepełną podgrupę *1*) tworzą zatem podgrupę $\bar{y}-(\bar{a}\bar{c}+\bar{b}\bar{c}) = \bar{y}-\bar{c}(\bar{a}+\bar{b}) = \bar{y}(c+ab)$. Pola leżące w wierszach $\bar{y}$, a nie objęte powyższym wzorem na skutek odjęcia pól leżących w kolumnach $\bar{a}\bar{c}+\bar{b}c$, oznaczono na siatce krzyżykami. Wśród nich znajdują się trzy pola jedynkowe **20**, **22** i **38**. Oznacza to, że pola te, chociaż należą do podgrupy *1*, nie zostały objęte wyrażeniem $\bar{y}(c+ab)$ i że trzeba je uwzględnić przy ustalaniu pozostałych podgrup jedynkowych.

Z kolei trzeba wyznaczyć pozostałe podgrupy, które powinny objąć również pola opuszczone w podgrupie *1*. Są to: podgrupa $b\bar{c}w$ oznaczona na siatce numerem *2* i obejmująca opuszczone uprzednio pola **20** i **22** oraz podgrupa *3*, odpowiadająca iloczynowi $awx\bar{y}$ i obejmująca pole **38**.

Teraz nietrudno utworzyć podgrupy z nieuwzględnionych dotychczas dziesięciu pól jedynkowych. Będzie to podgrupa oznaczona na siatce numerem *4*, odpowiadająca iloczynowi $a\bar{c}wy$; podgrupa *5*, odpowiadająca iloczynowi $\bar{a}b\bar{w}y$, i podgrupa *6* — odpowiadająca iloczynowi $a\bar{b}\bar{w}y$. Sumując wyrazy określające sześć ustalonych podgrup otrzymuje się szukane wyrażenie strukturalne złożone z podgrup jedynkowych: $\bar{y}(c+ab)+b\bar{c}w+awx\bar{y}+a\bar{c}wy+\bar{a}b\bar{w}y+a\bar{b}\bar{w}y$. Aby wyrażenie to doprowadzić do postaci złożonej z minimalnej liczby liter trzeba przeprowadzić faktoryzację łącząc wyrazy pierwszy z trzecim, drugi z czwartym i piąty z szóstym. Otrzymamy:

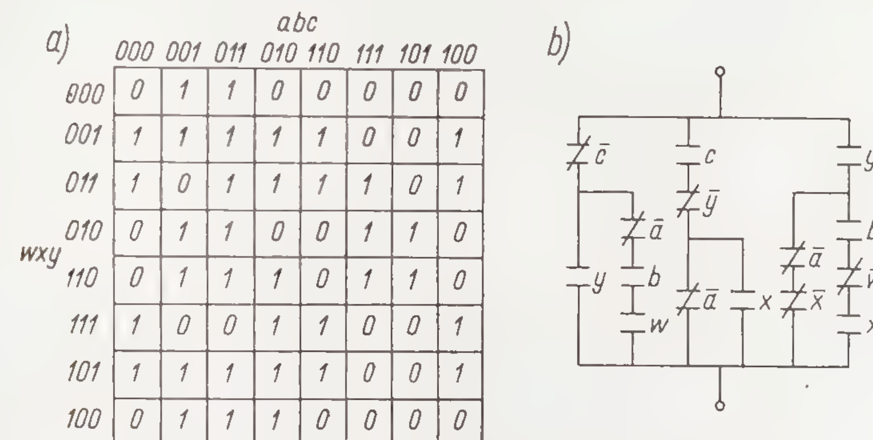
$\bar{y}(c+ab+awx)+\bar{c}w(b+ay)+\bar{w}y(\bar{a}b+a\bar{b}) = \bar{y}[c+a(b+wx)]+\bar{c}w(b+ay)+\bar{w}y+(\bar{a}b+a\bar{b})$. Tak zminimalizowanemu wyrażeniu strukturalnemu odpowiada obwód, którego schemat podano na rys. 80 a.

Ustalenie wyrażenia strukturalnego złożonego z podgrup zerowych (rys. 79 b) rozpoczyna się od dwóch niepełnych podgrup zerowych $\bar{y}$ oraz $y+c$. Pierwszą trzeba uzupełnić sumą iloczynów $\bar{w}\bar{a}b+\bar{w}a\bar{b}+wb\bar{c}+wa\bar{c} = \bar{w}(\bar{a}b+a\bar{b})+w\bar{c}(a+b)$, drugą — sumą iloczynów $wb\bar{c}+ab+wxa = w(b\bar{c}+ax)+ab$. W pierwszej z tych sum można wykorzystać tożsamość $\bar{a}b+a\bar{b} = (\bar{a}+\bar{b})(a+b)$, co pozwoli na dalszą minimalizację wyrażenia strukturalnego przez wyniesienie przed nawias sumy $a+b$. Otrzymamy wtedy $\{\bar{y}+(a+b)[\bar{w}(\bar{a}+\bar{b})+w\bar{c}]\}\{[y+c+w(b\bar{c}+ax)+ab]\}$. Wyrażenie to wyznacza obwód, przedstawiony na rys. 80b.



Rys. 80. Obwody, ustalone na podstawie odwzorowania przedstawionego na rys. 79

Przykład 12. Rysunek 81 a przedstawia odwzorowanie funkcji Σ (**1, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 33, 35, 37, 39, 42, 46, 49, 51, 53, 55, 58, 59, 62**). Na podstawie tego odwzorowania można wydzielić następujące podgrupy jedynkowe $\bar{c}y+\bar{a}\bar{x}y+cx\bar{y}+\bar{a}c\bar{y}+\bar{a}b\bar{c}w+b\bar{w}xy$. Czytelnikowi zalecamy samodzielne ustalenie podgrup jedynkowych, a następnie porównanie otrzymanego wyniku z podanym wyżej. Przy ustalaniu podgrup złożonych z wielu pól i z licznych zmiennych radzimy posługiwać się kolorowymi ołówkami.



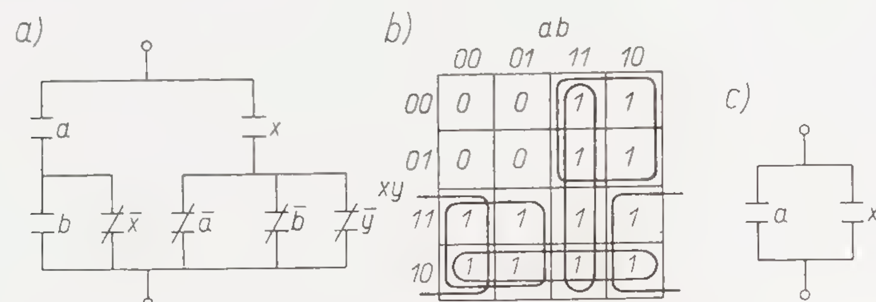
a)

wxy \ abc	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0	1	1	0	0	0	0	0
001	1	1	1	1	1	0	0	1
011	1	0	1	1	1	1	0	1
010	0	1	1	0	0	1	1	0
110	0	1	1	1	0	1	1	0
111	1	0	0	1	1	0	0	1
101	1	1	1	1	1	0	0	1
100	0	1	1	1	0	0	0	0

Rys. 81. Odwzorowanie i odpowiadający mu obwód

Podaną wyżej sumę iloczynów można sprowadzić do postaci zminimalizowanej przez wyniesienie przed nawias wspólnych czynników. Otrzymuje się wtedy wyrażenie strukturalne złożone z 15 liter: $c\bar{y}\,(\bar{a}+x)+y\,(\bar{c}+\bar{a}\bar{x})+b\,(\bar{a}\bar{c}w+\bar{w}xy)$. Inne zgrupowanie wyrazów prowadzi do odmiennego wyrażenia, również złożonego z 15 liter $\bar{c}\,(y+\bar{a}bw)+c\bar{y}\,(\bar{a}+x)+y\,(\bar{a}\bar{x}+bwx)$. Schemat obwodu odpowiadający drugiemu wariantowi wyrażenia strukturalnego przedstawiono na rys. 81 b.

Odwzorowaniem funkcji na siatkach *Karnaugha* w celu uzyskania zminimalizowanego obwodu realizującego tę funkcję w obwodzie sterowania można posługiwać się również w celu sprawdzenia, czy gotowy już schemat obwodu nie zawiera zbędnych zestyków. Ciekawy przykład takiego postępowania przedstawiono na rys. 82. Schemat (rys. 82a) nie zawiera ani jednego zestyku, który po-



Rys. 82. Przykład uproszczenia obwodu za pomocą odwzorowania: a) obwód w pierwotnej postaci; b) odwzorowanie obwodu; c) obwód uproszczony, ustalony na podstawie odwzorowania obwodu pierwotnego

wtarzałby się dwukrotnie, zawodzi również próba przeprowadzania redukcji bezpośrednio na schemacie, a mimo to obwód ten można zredukować do dwustykowego, pokazanego na rysunku 89 c.

Aby odwzorować obwód na siatce *Karnaugha*, trzeba najpierw ułożyć jego wyrażenie strukturalne. Wyrażenie odwzorowujące obwód przedstawiony na rys. 82 a ma postać $a\,(b+\bar{x})+x\,(a+\bar{b}+\bar{y})$. Przemnażając sumy w nawiasach wyrażenie strukturalne można rozwinąć na sumę iloczynów $ab+a\bar{x}+\bar{a}x+\bar{b}x+x\bar{y}$. Podgrupy jedynkowe odpowiadające poszczególnym wyrazom rozwinięcia, odwzorowuje się na siatce (rys. 82b). Można zauważyć, że pola jedynkowe wypełniają trzecią i czwartą kolumnę (kolumny te odpowiadają literze a) oraz trzeci i czwarty wiersz (wiersze te odpowiadają literze x), a więc wyrażenie strukturalne funkcji zrealizowanej przez obwód (rys. 82a) daje się zredukować do sumy dwóch liter $a+x$, a tym samym obwód siedmiozestykowy został zredukowany do równoważnego mu obwodu dwuzestykowego (rys. 82a).

To samo wyrażenie strukturalne otrzymuje się, biorąc pod uwagę cztery pola zerowe, tworzące podgrupę zerową $a+x$.

2. Algebraiczna metoda minimalizacji wyrażeń strukturalnych

Z przeprowadzonych na drodze algebraicznej minimalizacji wyrażeń strukturalnych wynikało, że końcowy wynik zależy niejednokrotnie od intuicji prowadzącego przekształcenia. Zwrócono uwagę, że metoda prowadząca niezawodnie do pełnego zminimalizowania wyrażenia strukturalnego jest uciążliwa, ponieważ wymaga jego rozwinięcia do postaci normalnej, a następnie przeprowadzenia ko-

lejno wszystkich możliwych kojarzeń i redukcji poszczególnych wyrazów. Technikę takiej metody, opracowanej pierwotnie przez *Quine'a*, udoskonalił Mc *Cluskey*, zastępując literowe wyrażenia iloczynów kanonicznej postaci sumy (albo sum w kanonicznej postaci iloczynów) przez oznaczenia binarno-cyfrowe, takie jakie stosujemy przy opisywaniu kolumn i wierszy siatek *Karnaugha*.

Metoda *Quine-Mc Cluskey* zasługuje na bliższe omówienie, gdyż pozwala ona na minimalizację wyrażeń strukturalnych będących funkcją dowolnej liczby zmiennych. Omówienie tej metody rozpoczniemy na przykładzie wyrażenia strukturalnego, odpowiadającego schematowi przedstawionemu na rys. 57. Jest to wyrażenie $A=\Sigma\,(\mathbf{0, 2, 3, 5, 6, 7})=\bar{x}\bar{y}\bar{z}+\bar{x}y\bar{z}+\bar{x}yz+x\bar{y}z+xy\bar{z}+xyz$ przedstawione w postaci kanonicznej sumy iloczynów.

Przystępując do minimalizacji wyrażenia A trzeba zsumować między sobą wszystkie pary iloczynów, różniących się stanem jednej tylko zmiennej. Jeżeli jeden wyraz można zsumować w ten sposób z kilkoma innymi (np. wyraz $\bar{x}y\bar{z}$ można sumować z wyrazami $\bar{x}\bar{y}\bar{z}$, $\bar{x}yz$ oraz $xy\bar{z}$), to oblicza się wszystkie te sumy.

Poniżej podano wszystkie możliwe sumy tego rodzaju dla iloczynów wyrażenia strukturalnego A, przedstawiając iloczyny najpierw w postaci symboli dziesiętnych, a następnie w postaci literowej.

$$\mathbf{0}+\mathbf{2}=\bar{x}\bar{y}\bar{z}+\bar{x}y\bar{z}=\bar{x}\bar{z};\ B$$
$$\mathbf{2}+\mathbf{3}=\bar{x}y\bar{z}+\bar{x}yz=\bar{x}y;\ *$$
$$\mathbf{2}+\mathbf{6}=xy\bar{z}+xy\bar{z}=y\bar{z};\ *$$
$$\mathbf{3}+\mathbf{7}=\bar{x}yz+xyz=yz;\ *$$
$$\mathbf{5}+\mathbf{7}=xyz+xyz=xz;\ C$$
$$\mathbf{6}+\mathbf{7}=xy\bar{z}+xyz=xy;\ *$$

Przeprowadzając sumowanie zaznacza się jednocześnie znakiem $*$ te iloczyny w pierwotnej kanonicznej postaci sumy, które były wykorzystane przy dodawaniu. Okazuje się, że wszystkie iloczyny zostały uwzględnione, a więc zamiast sumy iloczynów trójliterowych występuje obecnie suma iloczynów dwuliterowych.

Następnie w podobny sposób przez sumowanie otrzymanych iloczynów dwuliterowych, przeprowadza się redukcję zmiennych. Redukcja taka wymaga, by oba składniki sumy różniły się stanem tylko jednej zmiennej. Sumowanie rozpoczyna się od pierwszego iloczynu $\bar{x}\bar{z}$, dla którego para nie istnieje ($\bar{x}\bar{z}$ można byłoby skojarzyć jedynie albo z xz, albo też z xz). Drugi z kolei iloczyn ($\bar{x}y$) można zsumować z ostatnim xy, trzeci ($y\bar{z}$) — z czwartym (yz), piąty wreszcie (xz) znowu nie ma dla siebie pary. Przeprowadzając to sumowanie oznaczano, jak poprzednio, znakiem $*$ te iloczyny, które zostały użyte w tym działaniu. Znak ten informuje, że odpowiedni iloczyn został zredukowany o jedną literę i jest uwzględniony w następnej grupie wyrazów. Iloczyny, których nie można było w ten sposób zredukować, oznacza się dużymi literami, np. iloczyn $\bar{x}\bar{z}$ — literą B, xz — literą C. Przeprowadzone sumowanie zestawiono poniżej

$$\left.\begin{aligned}\bar{x}y+xy&=y\\ y\bar{z}+yz&=y\end{aligned}\right\}D$$

Oba ostatnie sumowania dały w wyniku literę y, której bardziej zredukować już nie można; oznacza się więc ją literą D. W rezultacie wyrażenie strukturalne zostało zredukowane do sumy trzech wyrazów $A=B+C+D=\bar{x}\bar{z}+xz+y$. Wynik ten jest identyczny z otrzymanym za pomocą odwzorowania *Eulera*. Ten elementarnie prosty przykład ułatwi zrozumienie sensu podanych poniżej reguł postępowania, opracowanych przez *Mc Cluskey*.

1) Wyrażenie strukturalne należy sprowadzić do kanonicznej postaci sumy iloczynów lub iloczynu sum. Wyrazy tej postaci zapisuje się w notacji binarnej, a więc wyrazy występujące w omówionym wyżej przykładzie zapisze się jako 000, 010, 011, 101, 110 i 111.

2) Poszczególne wyrazy dzieli się na grupy, z których każda obejmuje wyrazy zawierające taką samą liczbę jedynek. Wyrazy w grupach wypisuje się jeden pod drugim, podobnie pisze się grupy jedną pod drugą, oddzielając je liniami poziomymi. Grupy wypisuje się od góry w kolejności rosnącej liczby jedynek, wyrazy w grupach — w kolejności wartości liczbowej ich cyfrowego zapisu, pisząc jednocześnie z lewej strony każdego wyrazu jego symbol dziesiętny. W omawianym przykładzie otrzymuje się zestawienie, jak podano poniżej w kolumnie oznaczonej I.

I		II		III	
0	0 0 0 *	**0, 2**	0 – 0 *B*	**2, 3, 6, 7**	– 1 – *D*
2	0 1 0 *	**2, 3**	0 1 – *		
		2, 6	– 1 0 *		
3	0 1 1 *	**3, 7**	– 1 1 *		
5	1 0 1 *	**5, 7**	1 – 1 *C*		
6	1 1 0 *				
7	1 1 1 *	**6, 7**	1 1 – *		

3) Sumowanie redukujące jedną zmienną można przeprowadzić tylko między wyrazami różniącymi się stanem jednej zmiennej. Warunkom takiego sumowania mogą (ale nie muszą) odpowiadać tylko wyrazy sąsiednich grup, różniących się o jedną jedynkę lub zero. To spostrzeżenie ułatwia wyraźnie pracę, ograniczając poszukiwania par wyrazów wyłącznie do wyrazów grup sąsiednich. Poszukiwanie rozpoczyna się od góry pierwszej grupy, szukając dla każdego wyrazu odpowiedniego wyrazu z grupy drugiej. Po przejrzeniu w ten sposób wyrazów grupy pierwszej, przystępuje się do porównywania wyrazów grupy drugiej z grupą trzecią itd.

4) Następnie układa się drugą kolumnę zestawienia, w której z lewej strony pisze się dziesiętne symbole wyrazów, jakie weszły w skład sumy zredukowanej (w pierwszej kolumnie wyrazy te oznaczono znaczkiem*), a obok — cyfrowe oznaczenia zredukowanego iloczynu, w którym na miejsce zmiennej ulegającej redukcji stawia się kreskę. Pracę tę ułatwia dodatkowo spostrzeżenie, że parę wyrazów podlegających redukcji jednej zmiennej tworzą wyrazy, których symbole dziesiętne różnią się o 2^n.

Przeprowadzając omówioną operację należy zsumować wyrazy pierwszej grupy 0 0 0 z wyrazem drugiej grupy 0 1 0. W wyniku otrzymuje się 0 - 0. Kreskę postawiono w środkowej pozycji, w której w jednym składniku występuje 0, w drugim zaś – 1. Przy wyrazach **0** (0 0 0) i **2** (0 1 0) w kolumnie pierwszej stawia się znak*, w drugiej kolumnie pisze się symbole składników **0**, **2** oraz wynik 0 - 0. Podobnie zsumowanie **2** i **3** daje wynik 01-, zsumowanie wyrazu **2** z **6** daje – 10, natomiast nie można zsumować wyrazu **2** z drugim wyrazem trzeciej grupy **5**, ponieważ różni się od niego stanem trzech zmiennych. Przechodząc wreszcie do sumowania wyrazów grupy trzeciej i czwartej otrzymuje się: **3** i **7** daje – 1 1; **5** i **7** daje 1 – 1 oraz **6** i **7** daje 1 1 –.

W ten sposób wykorzystano wszystkie wyrazy pierwszej kolumny, stawiając przy każdym z nich znaczek*. Należy pamiętać, że postawienie gwiazdki oznacza, iż dany wyraz wszedł do jednej ze zredukowanych sum, nie zwalnia jednak z obowiązku sprawdzenia, czy wyraz ten nie daje się zredukować przez zsumowanie z innym jeszcze wyrazem następnej grupy. Kończąc sumowanie wyrazów dwóch sąsiednich grup pierwszej kolumny, kończy się jednocześnie wypisywanie wyrazów jednej grupy w następnej kolumnie. Grupa ta będzie się składała z wyrazów zawierających tyle jedynek, ile ich miały wyrazy uboższej w jedynki grupy kolumny poprzedniej; w każdym wyrazie drugiej kolumny występuje jedna kreska.

5) Z kolei przeprowadza się redukcję drugiej litery, sumując wyrazy sąsiednich grup kolumny II. Tym razem warunkiem zredukowania litery jest, poza różnicą stanu jednej tylko zmiennej, aby oba składniki sumy zawierały te same zmienne, a więc aby w obu składnikach kreska znajdowała się na tej samej pozycji. Dodatkowe ułatwienie wyszukiwania par prowadzących do redukcji stanowią symbole dziesiętne — różnica między symbolami pierwszymi (albo drugimi) musi być równa 2^n.

Przystępując po tych wyjaśnieniach do wykonania redukcji w kolumnie II działanie zaczyna się, jak zwykle, od pierwszej grupy. Jedyny wyraz tej grupy 0 – 0 nie daje się skojarzyć z żadnym innym wyrazem, ponieważ w drugiej grupie nie występuje żaden wyraz z kreską na drugiej pozycji zamiast zmiennej y. Wobec tego przy tym wyrazie wstawia się oznaczenie literowe B zamiast znaczka *.

Pierwszy wyraz drugiej grupy 0 1 – można zsumować jedynie z ostatnim wyrazem trzeciej grupy 1 1 –, ponieważ oba mają kreski na pierwszej pozycji (przypominamy, że w systemach liczbowych pozycje liczymy od prawej strony). Oba te wyrazy różnią się tylko wartością na trzeciej pozycji, dają więc wyraz zredukowany – 1 –, który zapisuje się w kolumnie III, zaznaczając znaczkiem wyrazy składowe w kolumnie II. Ten zredukowany iloczyn składa się z pierwotnych wyrazów **2**, **3**, **6**, **7**.

Drugi wyraz drugiej grupy można zsumować z pierwszym wyrazem trzeciej grupy. Zwróćmy jednak uwagę, że wypisując w podanej kolejności zanotowane z lewej strony symbole dziesiętne otrzymuje się kolejność nieuporządkowaną pod względem wartości dziesiętnych **2**, **6**, **3**, **7**.

Spostrzeżenie to świadczy, że wyrazy **2**, **6**, **3** i **7** powinny były już przedtem zostać zredukowane. Istotnie suma – 1 0 i – 11 daje – 1 –, a więc ten sam wynik, co zanotowana już w III kolumnie suma 0 1 – i 11 –, obejmująca wyrazy **2**, **3**, **6** i **7**. Mimo że wyrazy – 1 0 i – 1 1 dają wynik już uwzględniony, stawiamy przy nich znaczek *.

Pozostaje drugi wyraz trzeciej grupy 1 – 1, którego nie ma już z czym zsumować, pisze się więc obok niego literę C. Literę D pisze się przy jedynym wyrazie III kolumny. To znakowanie wyrazów oznacza, że wyrazy ze znaczkiem * są objęte przez wyrazy oznaczone dużą literą. Tak np. wyraz III kolumny obejmuje cztery pierwotne iloczyny: **2**, **3**, **6**, **7**. Brakuje jeszcze wyrazów **0** i **5**. Pierwszy z nich jest zawarty w zredukowanym iloczynie B, drugi — w C. Ostatecznie wyrażenie strukturalne jest sumą iloczynów B, C i D; $A = B+C+D$. Przechodząc od oznaczenia iloczynów symbolem dużej litery do wyrażenia ich przez zmienne x, y i z, wypisuje się zmienne w ustalonej kolejności (x odpowiada trzeciej, z — pierwszej pozycji), opuszczając te, na których miejscu jest wypisana kreska, a pozostałe wypisując w postaci nie zanegowanej, jeśli na ich miejscu jest 1, a w zanegowanej — jeśli 0. Tak więc $A = B+C+D = \bar{x}\bar{z}+xz+y$.

W przypadku minimalizacji wyrażenia podanego w kanonicznej postaci iloczynu sum najlepiej jest operować wyjściową postacią tego wyrażenia, to znaczy

zapisem pól (iloczynów zmiennych), dla których minimalizowane wyrażenie przyjmuje wartość 0. Po zakończeniu minimalizacji przeprowadza się operację negacji, aby otrzymać żądany wynik. Sposób postępowania zostanie wyjaśniony na elementarnie prostym przykładzie.

Przykład 1. Przeprowadzić minimalizację wyrażenia strukturalnego, odwzorowanego na siatce *Karnaugha* (rys. 82b). Z siatki tej ustalamy zapis w postaci podgrup zerowych: $K = \Pi$ (**0, 1, 4, 5**).

Przez czas przeprowadzania minimalizacji metodą Mc Cluskey'go traktujemy zapis Π (**0, 1, 4, 5**) tak samo, jak zapis Σ (**0, 1, 4, 5**). Poniżej podano dla tego przykładu zestawienie grup i kolumn.

I	*a b x y*	II	*a b x y*	III	*a b x y*
0	0 0 0 0 *	**0, 1**	0 0 0 – *	**0, 1, 4, 5**	0 – 0 – *A*
1	0 0 0 1 *	**0, 4**	0 – 0 0 *		
4	0 1 0 0 *	**1, 5**	0 – 0 1 *		
5	0 1 0 1 *	**4, 5**	0 1 0 – *		

W wyniku otrzymuje się jeden zredukowany iloczyn, oznaczony w kolumnie III przez *A*. Ponieważ przebieg minimalizacji dotyczy podgrup zerowych, należy jeszcze przejść do negacji tego iloczynu, pisząc $K = \bar{A} = a + x$. W przypadku gdy minimalizacja pierwotnej postaci daje kilka iloczynów (*A*, *B*, *C* ...), poszukiwaną postacią zminimalizowanego wyrażenia, złożonego z podgrup zerowych, będzie $K = \bar{A}\bar{B}\bar{C}...$ W praktyce dochodzi się do tej ostatniej postaci stosując tę samą technikę, co przy ustalaniu wyrażenia strukturalnego na podstawie odwzorowania w siatce Karnaugha, a więc pisząc odpowiednie litery bez kreski u góry tam, gdzie występują zera, a tam, gdzie występują jedynki pisząc litery z kreską u góry.

2.1. Ustalanie zminimalizowanego wyrażenia strukturalnego w przypadkach bardziej złożonych

Wyrażenie strukturalne, utworzone przez zsumowanie zredukowanych iloczynów, które podczas kolejnych redukcji oznaczaliśmy dużymi literami, będzie zawierało znacznie mniej liter, niż to samo wyrażenie w postaci pierwotnej. Jednakże w przypadku wyrażeń strukturalnych, będących funkcją większej liczby zmiennych, kiedy celowe jest korzystanie z metody *Mc Cluskey'a*, ta postać wyrażenia nie zawsze będzie postacią zminimalizowaną. Dalsza analiza zredukowanej postaci wyrażenia strukturalnego pozwala jeszcze niejednokrotnie na skreślenie kilku iloczynów, wchodzących w skład wyrażenia. Uwaga powyższa odnosi się również do wyrażeń strukturalnych w postaci iloczynu sum.

Stosunkowo prostą metodę uzyskania zminimalizowanej postaci wyrażenia strukturalnego po przeprowadzeniu jego redukcji metodą *Mc Cluskey'a* można poznać, przeprowadzając redukcję i minimalizację w podanym niżej przykładzie. Pierwsza część przykładu (do uzyskania zredukowanych iloczynów) została podana bez żadnych wyjaśnień, od razu w postaci zestawienia iloczynów w grupach i kolumnych.

Przykład 2. Przeprowadzić minimalizację wyrażenia strukturalnego, będącego funkcją sześciu zmiennych R (a, b, c, w, x, y), przedstawioną w kanonicznej postaci sumy iloczynów:

$R = \Sigma$ (**1, 3, 5, 7, 8, 9, 12, 13, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 33, 35, 37, 39, 42, 46, 49, 51, 53, 55, 58, 59, 62**).

A oto zestawienia uporządkowane w grupach i w kolumnach:

I

	a b c w x y	
1	0 0 0 0 0 1	*
8	0 0 1 0 0 0	*
3	0 0 0 0 1 1	*
5	0 0 0 1 0 1	*
9	0 0 1 0 0 1	*
12	0 0 1 1 0 0	*
17	0 1 0 0 0 1	*
20	0 1 0 1 0 0	*
24	0 1 1 0 0 0	*
33	1 0 0 0 0 1	*
7	0 0 0 1 1 1	*
13	0 0 1 1 0 1	*
19	0 1 0 0 1 1	*
21	0 1 0 1 0 1	*
22	0 1 0 1 1 0	*
25	0 1 1 0 0 1	*
28	0 1 1 1 0 0	*
35	1 0 0 0 1 1	*
37	1 0 0 1 0 1	*
42	1 0 1 0 1 0	*
49	1 1 0 0 0 1	*
23	0 1 0 1 1 1	*
27	0 1 1 0 1 1	*
29	0 1 1 1 0 1	*
39	1 0 0 1 1 1	*
46	1 0 1 1 1 0	*
51	1 1 0 0 1 1	*
53	1 1 0 1 0 1	*
58	1 1 1 0 1 0	*
55	1 1 0 1 1 1	*
59	1 1 1 0 1 1	*
62	1 1 1 1 1 0	*

II

	a b c w x y	
1, 3	0 0 0 0 – 1	*
1, 5	0 0 0 – 0 1	*
1, 9	0 0 – 0 0 1	*
1, 17	0 – 0 0 0 1	*
1, 33	– 0 0 0 0 1	*
8, 9	0 0 1 0 0 –	*
8, 12	0 0 1 – 0 0	*
8, 24	0 – 1 0 0 0	*
3, 7	0 0 0 – 1 1	*
3, 19	0 – 0 0 1 1	*
3, 35	– 0 0 0 1 1	*
5, 7	0 0 0 1 – 1	*
5, 13	0 0 – 1 0 1	*
5, 21	0 – 0 1 0 1	*
5, 37	– 0 0 1 0 1	*
9, 13	0 0 1 – 0 1	*
9, 25	0 – 1 0 0 1	*
12, 13	0 0 1 1 0 –	*
12, 28	0 – 1 1 0 0	*
17, 19	0 1 0 0 – 1	*
17, 21	0 1 0 – 0 1	*
17, 25	0 1 – 0 0 1	*
17, 49	– 1 0 0 0 1	*
20, 21	0 1 0 1 0 –	*
20, 22	0 1 0 1 – 0	*
20, 28	0 1 – 1 0 0	*
20, 24	0 1 1 – 0 0	*
24, 25	0 1 1 0 0 –	*
33, 35	1 0 0 0 – 1	*
33, 37	1 0 0 – 0 1	*
33, 49	1 – 0 0 0 1	*
7, 23	0 – 0 1 1 1	*
7, 39	– 0 0 1 1 1	*
13, 29	0 – 1 1 0 1	*
19, 23	0 1 0 – 1 1	*
19, 27	0 1 – 0 1 1	*
19, 51	– 1 0 0 1 1	*
21, 23	0 1 0 1 – 1	*
21, 29	0 1 – 1 0 1	*
21, 53	– 1 0 1 0 1	*
22, 23	0 1 0 1 1 –	*
25, 27	0 1 1 0 – 1	*
25, 29	0 1 1 – 0 1	*
28, 29	0 1 1 1 0 –	*
35, 39	1 0 0 – 1 1	*
35, 51	1 – 0 0 1 1	*
37, 39	1 0 0 1 – 1	*

37, 53	1 - 0 1 0 1 *
42, 46	1 0 1 - 1 0 *
42, 58	1 - 1 0 1 0 *
49, 51	1 1 0 0 - 1 *
49, 53	1 1 0 - 0 1 *
23, 55	- 1 0 1 1 1 *
27, 59	- 1 1 0 1 1 *
39, 55	1 - 0 1 1 1 *
46, 62	1 - 1 1 1 0 *
51, 55	1 1 0 - 1 1 *
51, 59	1 1 - 0 1 1 *
53, 55	1 1 0 1 - 1 *
58, 59	1 1 1 0 1 - *A*
58, 62	1 1 1 - 1 0 *

III

	a b c w x y
1, 3, 5, 7	0 0 0 - - 1 *
1, 3, 17, 19	0 - 0 0 - 1 *
1, 3, 33, 35	- 0 0 0 - 1 *
1, 5, 9, 13	0 0 - - 0 1 *
1, 5, 17, 21	0 - 0 - 0 1 *
1, 5, 33, 37	- 0 0 - 0 1 *
1, 9, 17, 25	0 - - 0 0 1 *
1, 17, 33, 49	- - 0 0 0 1 *
8, 9, 12, 13	0 0 1 - 0 - *
8, 9, 24, 25	0 - 1 0 0 - *
8, 12, 24, 28	0 - 1 - 0 0 *
3, 7, 19, 23	0 - 0 - 1 1 *
3, 7, 35, 39	- 0 0 - 1 1 *
3, 19, 35, 51	- - 0 0 1 1 *
5, 7, 21, 23	0 - 0 1 - 1 *
5, 7, 37, 39	- 0 0 1 - 1 *
5, 13, 21, 29	0 - - 1 0 1 *
5, 21, 37, 53	- - 0 1 0 1 *
9, 13, 25, 29	0 - 1 - 0 1 *
12, 13, 28, 29	0 - 1 1 0 - *
17, 19, 21, 23	0 1 0 - - 1 *
17, 19, 25, 27	0 1 - 0 - 1 *B*
17, 19, 49, 51	- 1 0 0 - 1 *
17, 21, 25, 29	0 1 - - 0 1 *
17, 21, 49, 53	- 1 0 - 0 1 *
20, 21, 22, 23	0 1 0 1 - - *C*
20, 21, 28, 29	0 1 - 1 0 - *D*
24, 25, 28, 29	0 1 1 - 0 - *
33, 35, 37, 39	1 0 0 - - 1 *
33, 35, 49, 51	1 - 0 0 - 1 *
33, 37, 49, 53	1 - 0 - 0 1 *
7, 23, 39, 55	- - 0 1 1 1 *
19, 23, 51, 55	- 1 0 - 1 1 *
19, 27, 51, 59	- 1 - 0 1 1 *E*
21, 23, 53, 55	- 1 0 1 - 1 *
35, 39, 51, 55	1 - 0 - 1 1 *
37, 39, 53, 55	1 - 0 1 - 1 *
42, 46, 58, 62	1 - 1 - 1 0 *F*
49, 51, 53, 55	1 1 0 - - 1 *

IV

	a b c w x y
1, 3, 5, 7, 17, 19, 21, 23	0 - 0 - - 1 *
1, 3, 5, 7, 33, 35, 37, 39	- 0 0 - - 1 *
1, 3, 17, 19, 33, 35, 49, 51	- - 0 0 - 1 *
1, 5, 9, 13, 17, 21, 25, 29	0 - - - 0 1 *G*
1, 5, 17, 21, 33, 37, 49, 53	- - 0 - 0 1 *
8, 9, 12, 13, 24, 25, 28, 29	0 - 1 - 0 - *H*
3, 7, 19, 23, 35, 39, 51, 55	- - 0 - 1 1 *
5, 7, 21, 23, 37, 39, 53, 55	- - 0 1 - 1 *
17, 19, 21, 23, 49, 51, 53, 55	- 1 0 - - 1 *
33, 35, 37, 39, 49, 51, 53, 55	1 - 0 - - 1 *

V

	a b c w x y
1, 3, 5, 7, 17, 19, 21, 23, 33, 35, 37, 39, 49, 51, 53, 55	- - 0 - - 1 *K*

Po wykonaniu redukcji pozostaje dziewięć iloczynów: $A = abc\bar{w}x$; $B = \bar{a}b\bar{w}y$; $C = \bar{a}b\bar{c}$; $D = \bar{a}bw\bar{x}$; $E = b\bar{w}xy$; $F = acx\bar{y}$; $G = \bar{a}\bar{x}y$; $H = \bar{a}c\bar{x}$; $K = \bar{c}y$. Po pierwszym etapie minimalizacji wyrażenia strukturalnego otrzymano postać złożoną z 33 liter będącą sumą podanych wyżej dziewięciu iloczynów.

Tabela 4

	1	3	5	7	8	9	12	13	17	19	20	21	22	23	24	25	27	28	29	33	35	37	39	42	46	49	51	53	55	58	59	62
A																														1	1	
B									1	1						1	1															
C*											1	1	1	1																		
D											1	1						1	1													
E*										1							1										1				1	
F*																								1	1					1		1
G	1		1			1		1	1			1				1			1													
H*					1	1	1	1							1	1		1	1													
K*	1	1	1	1					1	1		1		1						1	1	1	1			1	1	1	1			

Drugim etapem minimalizacji jest sprawdzenie, czy wyrażenie strukturalne musi obejmować wszystkie podane wyżej zredukowane iloczyny. W tym celu sporządza się tabelę 4 złożoną z 32 kolumn odpowiadających 32 iloczynom kanonicznej postaci wyrażenia strukturalnego, oraz 9 wierszy odpowiadających 9 iloczynom zredukowanym. W tabeli tej kolumny oznacza się symbolami dziesiętnymi iloczyny kanonicznej postaci wyrażenia. Iloczyn zredukowany *A*, jak to wynika z zapisu w II kolumnie redukowanych iloczynów, obejmuje iloczyny pełne **58** i **59**, w tych więc kolumnach wiersza *A* tablicy wpisuje się jedynki. W wierszu *B* wpisuje się jedynki w kolumnach **17**, **19**, **25** i **27**, ponieważ iloczyn zredukowany *B* obejmuje te cztery pełne iloczyny. Dochodzi się w ten sposób do ostatniego wiersza tablicy, oznaczonego literą *K*, w którym wpisuje się szesnaście jedynek zgodnie z zapisem iloczynu *K* w V kolumnie zredukowanych iloczynów.

Biorąc pod uwagę poszczególne kolumny tablicy widać, że pełny iloczyn **1** jest zawarty w iloczynach zredukowanych *G* i *K*. Rozpatrując tylko ten jeden pełny iloczyn można by dowolnie wybrać wyraz *G* lub *K*. Jednakże drugi z kolei pełny iloczyn **3** jest zawarty w jednym tylko wyrazie *K*. Ten wyraz musi więc wejść do ostatecznej postaci zminimalizowanego wyrażenia strukturalnego, jego pominięcie spowodowałoby bowiem nieuwzględnienie pełnego iloczynu **3** (pola w odwzorowaniu *Karnaugha*), podobnie zresztą jak iloczynów **7**, **19**, **23**, **33**, **35**, **37**, **39**, **49**, **51**, **53** i **55**. Oczywiście wybranie wyrazu *K* zwalnia z obowiązku uwzględniania w innych wyrazach tych wszystkich iloczynów pełnych, które występują w wyrazie *K*. Zaznacza się to, przekreślając wszystkie jedynki zanotowane w wierszu *K* i wszystkie jedynki leżące w tych samych kolumnach, co i jedynki wiersza *K*. Tak np. przekreślając jedynkę w wierszu *K* i w kolumnie **21**, przekreślamy pozostałe jedynki w tej kolumnie w wierszach *C*, *D* i *G*.

Po wykonaniu skreśleń wyznacza się ponownie kolumny z jedną tylko jedynką. Tym razem będzie to kolumna **8** z jedynką w wierszu *H*. Drugim z kolei wyrazem, który musi wejść do zminimalizowanej postaci wyrażenia, będzie więc wyraz *H*. Powtarza się teraz znowu operację skreślania jedynek w wierszu *H* i w odpowiednich kolumnach innych wierszy.

Przeprowadzając po raz trzeci poszukiwanie kolumn z jedną jedynką znajduje się wyraz *C* (kolumna **22**), jako trzeci wyraz zminimalizowanej postaci wyrazu strukturalnego. W ten sam sposób dochodzi się do wyrazu *F* i *E*. W ten sposób wszystkie jedynki w tabeli zostały przekreślone, a zminimalizowana postać wyrażenia strukturalnego obejmuje tylko pięć zredukowanych iloczynów: $R = K + H + C + F + E$, które zaznaczono w tabeli 4 gwiazdką. Wyrazy *A*, *B*, *D* i *G* okazały się zbyteczne.

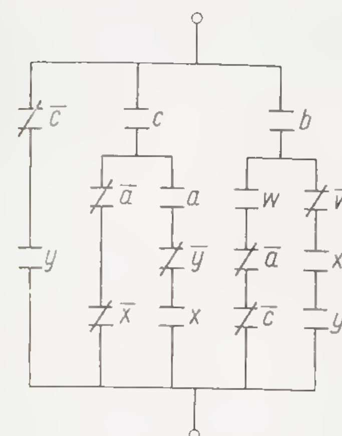
Zastępując litery *K*, *H*, *C*, *F* i *E* przez odpowiednie iloczyny, otrzymuje się zminimalizowane wyrażenie strukturalne

$$R = \bar{c}y + \bar{a}c\bar{x} + \bar{a}b\bar{c}w + acx\bar{y} + b\bar{w}xy$$

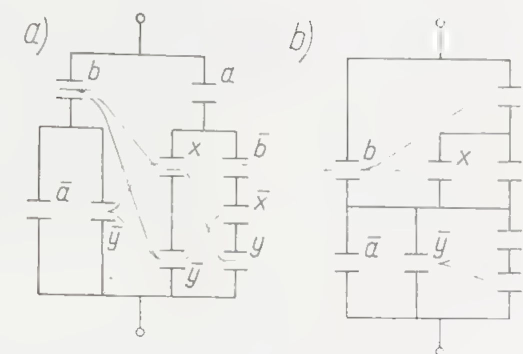
Dalszą minimalizację można osiągnąć przez wyniesienie przed nawias wspólnych czynników, np. $R = \bar{c}y + c(\bar{a}\bar{x} + ax\bar{y}) + b(\bar{a}cw + \bar{w}xy)$. Ta ostatnia postać obejmuje piętnaście liter, zamiast trzydziestu trzech występujących w pierwszej formie zredukowanej. Rys. 83 przedstawia schemat tak uproszczonego obwodu.

3. Linie łączeń i linie przerw

Między wyrażeniem strukturalnym, przedstawionym w postaci sumy iloczynów albo iloczynu sum, a schematem odpowiadającego mu obwodu zestykowego istnieje ciekawa zależność, która zostanie omówiona na przykładzie obwodu przedstawionego na rys. 76. Schemat ten jest powtórzony na rys. 84, przy czym dla większej przejrzystości zestyki rozwierne na tym ostatnim rysunku nie zostały wyróżnione ukośną kreską.



Rys. 83. Schemat obwodu do przykładu 2



Rys. 84. Linie łączeń i linie przerw w obwodzie

Schemat a) (rys. 84) odpowiada wyrażeniu strukturalnemu w postaci sumy iloczynów $\bar{a}b + b\bar{y} + ax\bar{y} + ab\bar{x}y$. Każdemu iloczynowi tej sumy odpowiada na schemacie jedna gałąź, złożona z szeregowo połączonych odpowiednich zestyków. Aby obwód był zamknięty, wystarczy zamknięcie choćby jednej jego gałęzi (wartość przynajmniej jednego iloczynu w wyrażeniu strukturalnym równa 1). Dlatego gałęzie te nazwiemy liniami łączeń. Odpowiadają one podgrupom jedynkowym wyrażenia strukturalnego.

Schemat b) (rys. 84), pod względem funkcjonalnym całkowicie równoważny schematowi a), odpowiada wyrażeniu strukturalnemu przedstawionemu w postaci iloczynu sum $(a+b)(b+x+y)(\bar{a}+\bar{y}+\bar{b})(\bar{a}+\bar{y}+x)$. Każdemu wyrazowi tej postaci wyrażenia (każdej z sum) odpowiada na schemacie zestaw zestyków, które można połączyć liniami, przecinającymi w poprzek cały obwód. Linie te, zaznaczone na schemacie, mają tę właściwość, że gdy wszystkie zestyki na jednej choćby linii są otwarte, to otwarty jest cały obwód. Dlatego nazwiemy je liniami przerw. Odpowiadają one podgrupom zerowym wyrażenia strukturalnego.

Linie łączeń występują nie tylko w obwodach, których wyrażenia strukturalne składają się z podgrup jedynkowych, lecz również w obwodach złożonych z podgrup zerowych. Podobnie linie przerw występują również w obwodach złożonych z podgrup jedynkowych. Odnalezienie w schemacie danego obwodu wszystkich linii łączeń pozwala na ustalenie wyrażenia strukturalnego tego obwodu w postaci sumy iloczynów, odnalezienie zaś wszystkich linii przerw — na ustalenie jego wyrażenia strukturalnego w postaci iloczynu sum. Stwierdzenie, że dwa obwody mają te same zestawy linii łączeń albo te same zestawy linii przerw, jest wystarczającym warunkiem równoważności obu obwodów.

Przy ustalaniu linii łączeń nie bierze się pod uwagę linii, w których występują zwierne i rozwierne zestyki tego samego łącznika, ponieważ taka linia pozostaje stale otwarta $(a\bar{a}) = 0$. Podobnie nie bierze się pod uwagę linii przerw, w których występują zwierne i rozwierne zestyki tego samego łącznika, ponieważ wzdłuż takiej linii nie występuje nigdy przerwa w obwodzie $(a+\bar{a} = 1)$.

Odnajdźmy dla przykładu linie łączeń na schemacie b) (rys. 84). Przez zestyk *b* przechodzą dwie linie łączeń $b\bar{a}$ i $b\bar{y}$ (trzeciej $b\bar{b}\bar{x}$ nie bierze się pod uwagę, ponieważ występuje w niej para zestyków $b\,\bar{b}$,); przez zestyk *a* przechodzą rów-

nież dwie linie łączeń $ax\bar{y}$ i $ay\bar{b}\bar{x}$. Zsumowanie podanych iloczynów doprowadza do schematu a).

Na schemacie a) można odnaleźć pięć linii przerw: $(a+b)$; $(b+x+y)$; $(b+\bar{y}+\bar{x})$; $(\bar{a}+\bar{y}+x+\bar{b})$; $(\bar{a}+\bar{y}+\bar{y}+\bar{x})$; wyznaczają one iloczyn sum $(a+b)\,(b+x+y)\,(b+\bar{x}+\bar{y})\,(\bar{a}+\bar{b}+x+\bar{y})\,(\bar{a}+\bar{x}+\bar{y})$ Na podstawie wzoru (13b) można nie uwzględniać sumy w trzecim nawiasie, ponieważ jest ona objęta iloczynem sum w pierwszym i ostatnim nawiasie. Pozostaje więc $(a+b)\,(b+x+y)\,(\bar{a}+\bar{b}+x+\bar{y})\,(\bar{a}+\bar{x}+\bar{y}) = [b+a\,(x+y)]\,(\bar{a}+\bar{y}+\bar{b}\bar{x})$. Jest to postać odpowiadająca schematowi b).

4. Końcowy etap minimalizacji — redukcja zestyków wielokrotnych

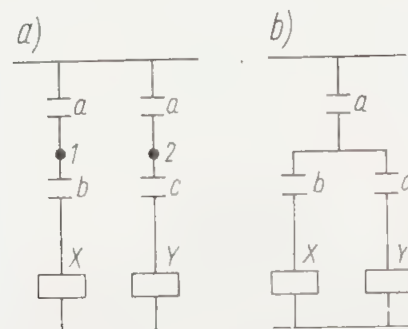
Po przeprowadzeniu minimalizacji zestyków w obwodzie za pomocą jednej z wyżej odpisanych metod, zdarza się, że w obwodzie pozostają jeszcze zestyki dwu- lub więcej krotne, to znaczy takie, które w wyrażeniu strukturalnym są reprezentowane przez tę samą literę. Powtarzające się w wyrażeniu strukturalnym jednakowe litery należy traktować jako prawdopodobnie zbyteczne i starać się przeprowadzić ich redukcję.

Mimo, że minimalizacja metodami logiki matematycznej doprowadza do zminimalizowanych postaci wyrażeń strukturalnych, jednakże w pewnych przypadkach stopień minimalizacji może zależeć od wyboru wyjściowej, normalnej postaci wyrażenia strukturalnego (suma iloczynów lub iloczyn sum.)

Sprawa minimalizacji komplikuje się jeszcze bardziej w przypadku większych układów, złożonych z oddzielnych obwodów. Nawet jeżeli zminimalizowano wszystkie obwody, to mimo to w układzie mogą występować zestyki wielokrotne, powtarzające się w różnych jego obwodach. Można wprawdzie napisać wyrażenie strukturalne, obejmujące od razu cały układ, jednakże w wyrażeniu takim będzie występowała tak duża liczba zmiennych, że przeprowadzenie jego minimalizacji na drodze matematycznej trzeba by wykonywać za pomocą matematycznych maszyn cyfrowych.

Możliwości redukcji zestyków wielokrotnych, występujących w układach wieloobwodowych, dają się sprowadzić do paru przypadków typowych.

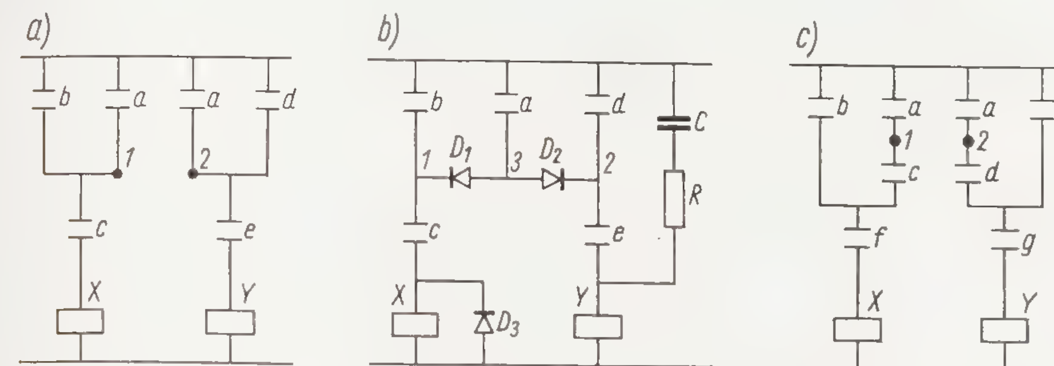
Wyznaczanie takich przypadków jest możliwe tylko w oparciu o schemat ideowy całego obwodu. Aby zapewnić możliwie dużą przejrzystość rozważań omawiane poniżej odpowiednie fragmenty schematów będą uproszczone do maksimum. Uproszczenie będzie polegało na wprowadzeniu pojedynczych zestyków tam, gdzie w oryginalnym schemacie mogą występować obwody złożone z wielu zestyków. Na rys. 85 przedstawiono najprostszy przypadek; w obwodach wzbudzenia dwóch przekaźników X i Y występują te same zestyki a, połączone szeregowo z innymi zestykami obwodów. Nie trzeba uzasadniać, że jeden z dwóch zestyków a można zredukować, łącząc przewód 1 z przewodem 2 (rys. 85b).



Rys. 85. Upraszczanie obwodów rozgałęzionych przez wydzielenie wspólnej części

W tym przypadku redukcję można było zresztą łatwo uzyskać pisząc wzór strukturalny układu wzbudzenia przekaźników X i Y i wynosząc w nim przed nawias wyraz a, $abX+acY = a\,(bX+cY)$.

Jeśli z powtarzającym się zestykiem jest połączony równolegle w jednej choćby gałęzi inny zestyk (rys. 86a), to redukcji prawdopodobnie przeprowadzić się nie uda. Połączenie przewodów 1 i 2 wprowadza bowiem do obwodu wzbudzenia przekaźników X dodatkową linię łączeń, złożoną z połączonych szeregowo zestyków dc, a do obwodu wzbudzenia przekaźnika Y — dodatkową linię łączeń be. Połączenie pozwalające na redukcję jednego zestyku a jest możliwe do przeprowadzenia w jednym tylko wypadku, a mianowicie jeśli obie dodatkowe gałęzie pozostają stale otwarte, a więc jeśli zestyki wchodzące w skład gałęzi dodatkowych spełniają warunek $cd+be = 0$, wtedy bowiem gałęzie takie nie tworzą nigdy linii łączeń.



Rys. 86. Przykład upraszczania obwodów rozgałęzionych

Istnieje przypadek, gdy podany wyżej warunek nie jest wprawdzie stale spełniany, lecz uzyskanie wartości iloczynów cd i be równych jedności nie jest możliwe ze względów technicznych, np. c i d są zestykami zwiernymi dwóch łączników drogowych, które nie mogą znajdować się jednocześnie w stanie wymuszonym. W takim przypadku obwód cd będziemy nazywali dodatkową linią łączeń (albo gałęzią) obwodu X otwartą warunkowo. Oczywiście do połączenia przewodu 1 z przewodem 2 upoważnia dopiero stwierdzenie, że obie gałęzie be i cd są otwarte przynajmniej warunkowo.

Inny przypadek, umożliwiający redukcję jednego zestyku a przez połączenie przewodów 1 i 2, występuje wtedy, gdy wprawdzie obie lub jedna z dodatkowych gałęzi tworzy w pewnych warunkach zamkniętą linię łączeń, jednakże możliwe jest to jedynie wtedy, gdy zamknięte są również zestyki a. I w tym przypadku dodatkowe linie łączeń nazwiemy warunkowo otwartymi.

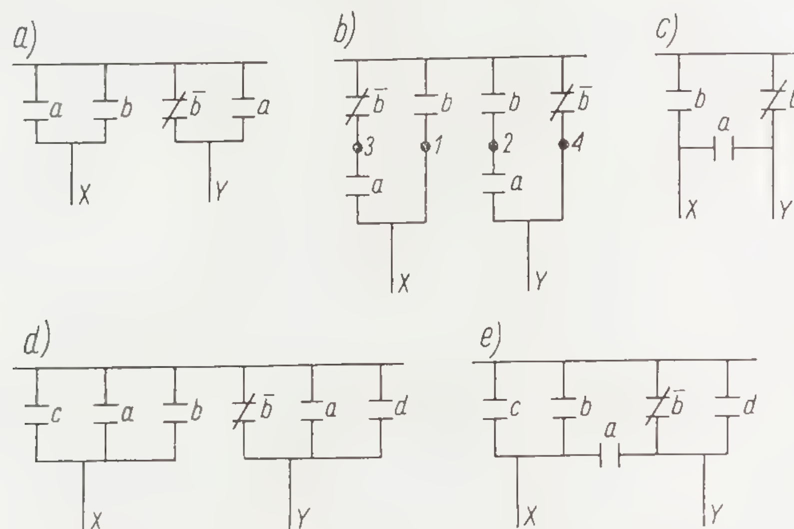
Jeżeli wreszcie nie można stwierdzić, ani że obie gałęzie są stale otwarte, ani przynajmniej warunkowo otwarte, można przeprowadzić redukcję jednego zestyku a, stosując zasilanie obwodów wzbudzenia przekaźników X i Y prądem stałym i wprowadzając w obwód dodatkowych linii łączeń blokady diodowe (diody D_1 i D_2 rys. 86b). Stosowanie takiego rozwiązania wymaga jednak właściwego doboru diod blokujących pod względem obciążalności oraz zabezpieczenia ich przed uszkodzeniem na skutek sem powstającej przy otwieraniu obwodów wzbudzenia przekaźników X i Y. Obwody te muszą być więc wyposażone w obwody gaszące. Na schemacie 86 b przedstawiono oba rodzaje obwodów gaszących z diodą D_3 rozładowującą energię pola magnetycznego przekaźnika X oraz klasyczny obwód RC w obwodzie przekaźnika Y. Należy jednak pamiętać, że

dioda D_3 bardziej przedłuża czas otwierania przekaźnika niż obwód RC a sem powstająca przy otwieraniu przekaźnika redukuje się do wartości nieco wyższej od napięcia zasilania. Przy stosowaniu zaś obwodów gaszących RC trudno jest dobrać odpowiednią wartość kondensatora C. W takich układach dobrze jest w obwodzie prototypowym sprawdzić wartość sem za pomocą oscyloskopu.

Jeżeli w schematach a) i b) (rys. 86) tylko jedna z dodatkowych gałęzi może być zamknięta, np. tylko gałąź *be*, podczas gdy druga jest stale lub warunkowo otwarta, to wystarczy zastosować jedną diodę blokującą (diodę D_1), łącząc na stałe przewód *2* z przewodem *3*.

Na rysunku 86 c podano przykład bardziej rozbudowanych obwodów przekaźników X i Y z powtarzającym się zestykiem a. W tym przypadku należy rozważyć czy dodatkowe linie łączeń $bcdg$ i $cdef$ są stale czy choćby warunkowo otwarte. Warunkiem umożliwiającym przeprowadzenie redukcji jest $bcdg+cdef = cd(bg+ef) = 0$.

Szczególny przypadek pozwalający na zredukowanie jednego z dwóch powtarzających się zestyków przedstawiono na rys. 87a. W schemacie tym w jednym obwodzie z zestykiem a jest połączony równolegle zestyk b, w drugim zaś obwodzie równolegle z zestykiem a jest połączony zestyk $\bar{b}$.



Rys. 87. Przykład upraszczania obwodów rozgałęzionych

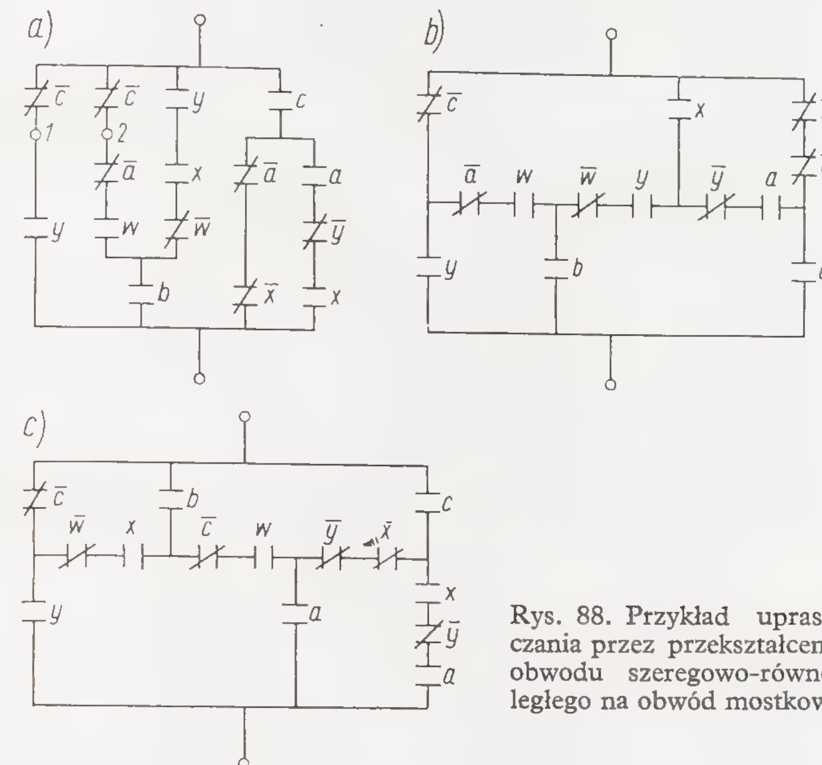
Na podstawie wzoru (14a) pierwszą gałąź $a+b$ można uzupełnić do postaci $b+\bar{b}a$, a drugą gałąź — do postaci $\bar{b}+ba$ (rys. 87b). Oba układy są równoważne. W układzie b) można połączyć przewód *1* z przewodem *2*. Połączenie takie wprowadza do obwodu X dodatkową gałąź $\bar{b}a$, ponieważ jednak gałąź taka istnieje już w obwodzie X, jest to dopuszczalne. Podobnie w obwodzie Y połączenie *1* i *2* wprowadza gałąź $\bar{b}a$, na co również można się zgodzić, ponieważ w obwodzie Y występuje gałąź $\bar{b}$, a na podstawie wzoru (11a) wiadomo że $b > ba$.

Dopuszczalne okazuje się także połączenie przewodów *3* i *4*. Wprowadza ono do obwodu X gałąź ba i taką samą gałąź do obwodu Y, jednak gałąź $b > ba$ jest już w obwodzie X, a w obwodzie Y jest gałąź ba. Połączenie przewodów *1* z przewodem *2* i *3* z przewodem *4* daje nam układ równoważny z jednym już tylko zestykiem a (rys. 87c).

Okazuje się, że możliwość takiego uproszczenia istnieje również wtedy, gdy w gałęziach X i Y z obwodami $a+b$ i $a+\bar{b}$ są połączone jeszcze inne, zupełnie dowolne zestyki, czy obwody, które w schemacie d) (rys. 87) są reprezentowane

przez zestyki c i d. Schemat e) otrzymuje się po uproszczeniu. Występują w nim dodatkowe linie łączeń: gałąź ca w obwodzie Y i gałąź da — w obwodzie X. Te linie łączeń nie zmieniają jednak funkcji żadnego z obwodów, ponieważ zarówno $ca < a$, jak i $da < a$ i ponieważ gałąź a występuje w obu obwodach X i Y.

Tytułem przykładu można zredukować przynajmniej część zestyków, powtarzających się w obwodzie, którego schemat przedstawiono na rys. 83. Do powtarzających się zestyków należą $\bar{c}$, $\bar{a}$, x, y. Próba redukcji rozpocznie się od zestyków $\bar{c}$. W tym celu należy schemat przerysować, zmieniając konfigurację zestyków tak, by oba zestyki $\bar{c}$ znalazły się obok siebie i miały jeden wspólny przewód. (rys. 88a).



Rys. 88. Przykład upraszczania przez przekształcenie obwodu szeregowo-równoległego na obwód mostkowy

Można próbować wyeliminować jeden z zestyków $\bar{c}$ przez połączenie przewodów *1* i *2*. Połączenie to jest dozwolone, ponieważ wprowadzona przez nie dodatkowa gałąź $yx\bar{w}w\bar{a}y$ jest stale otwarta (dzięki iloczynowi $\bar{w}w$).

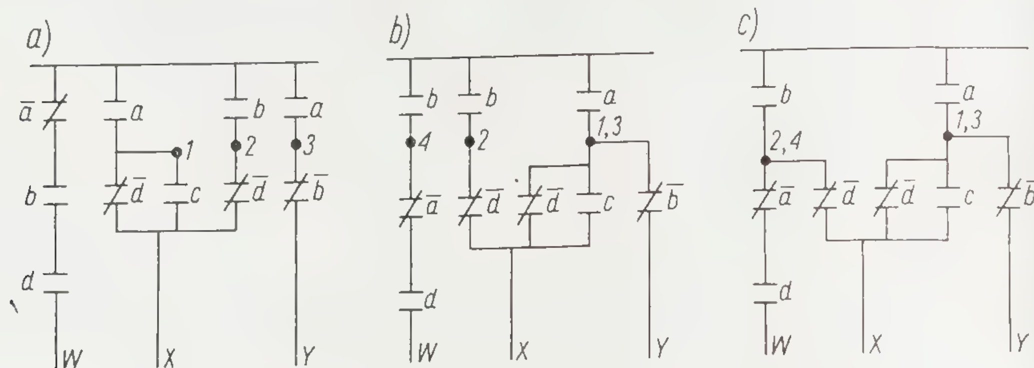
Powtarzając taką samą próbę z zestykiem x dochodzi się do schematu b) (rys. 88), w którym już tylko dwa zestyki są podwójne: $\bar{a}$ i y. Jednakże próba dalszej redukcji zestyków, np. jednego z zestyków $\bar{a}$, daje tylko połowiczny rezultat zestyk ten można redukować, redukując jednocześnie jeden zestyk y, ale trzeba wtedy zastosować po dwa zestyki x i $\bar{c}$ (rys. 88c).

Rezultatem redukcji w obu przypadkach są obwody mostkowe, których nie można by otrzymać poznanymi uprzednio metodami logiki matematycznej, dotyczącymi wyłącznie obwodów szeregowo-równoległych.

Ciekawy przykład redukcji zestyków, powtarzających się w różnych obwodach zilustrowano na rys. 89. W obwodzie tym można próbować albo wyeliminować jeden z zestyków $\bar{d}$ przez połączenie przewodu *1* z przewodem *2*, albo też jeden z zestyków a, przez połączenie przewodu *1* z przewodem *3* (rys. 89a).

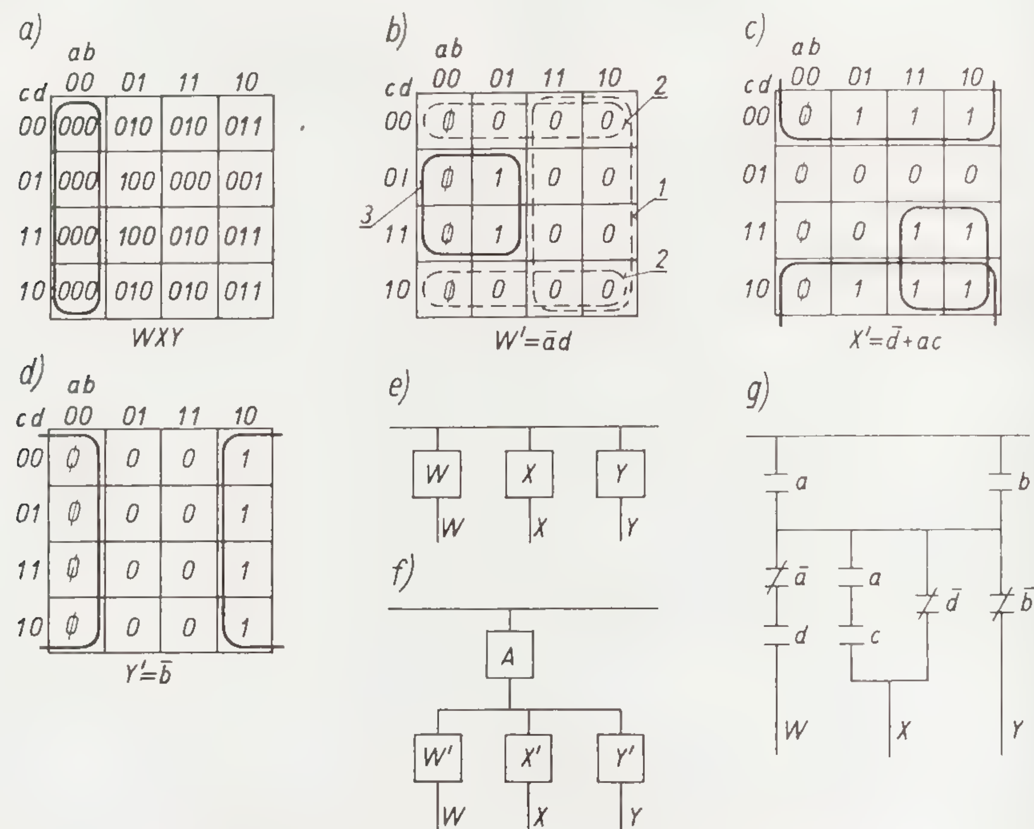
Pierwsza próba eliminowania nie udaje się, ponieważ połączenie przewodów *1* i *2* wprowadza do obwodu X nową linię łączeń bc. Natomiast połączenie przewodu *1* z przewodem *3* jest dopuszczalne, ponieważ dorzuca do obwodu Y stale otwartą gałąź $b\bar{d}\bar{b}$.

Po wykonaniu tej redukcji i wprowadzeniu zmiany w konfiguracji zestyków obwodu W (rys. 89b) trzeba sprawdzić, czy jest możliwe połączenie przewodu *2* z przewodem *4*, celem wyeliminowania jednego zestyku b. Połączenie to jest dopuszczalne, ponieważ wprowadza ono do obwodu W jedynie gałęzie stale otwarte, zawierające szeregowo połączone zestyki a i $\bar{a}$. Na rys. 89c przedstawiono te same obwody W, X i Y po wykonaniu omówionych dwóch redukcji.



Rys. 89. Przykład upraszczania obwodów rozgałęzionych

Redukcje można przeprowadzić również w oparciu o odwzorowanie na jednej siatce *Karnaugha* stanu wszystkich trzech obwodów (rys. 90a). W odwzorowaniu trzeba ustalić kolejność obwodów (w omawianym przypadku W, X, Y) i w ustalonej kolejności podpisywać ich symbole pod siatką (WXY). Wypełnianie pól siatki rozpoczyna się od stanów obwodu W, który zgodnie z ustaloną kolejnością — będzie reprezentowany przez pierwszą cyfrę. Z kolei wpisuje się



Rys. 90. Zasada ustalania wyrażeń strukturalnych obwodów rozgałęzionych, zawierających wspólną część

w pola siatki drugą cyfrę, określającą w poszczególnych polach stan drugiego z kolei obwodu (X) i wreszcie trzecią cyfrę, odpowiadającą stanowi obwodu Y.

Po wypełnieniu w ten sposób pól siatki można stwierdzić, że we wszystkich polach kolumny *00* stan trzech obwodów W, X i Y jest równy 0. Nasuwa się myśl, że gdyby zestawić wyrażenia strukturalne z podgrup zerowych, to wszystkie trzy obwody miałyby jeden czynnik wspólny, odpowiadający podgrupie zerowej $(a+b)$. Ten wspólny czynnik można będzie następnie wyłączyć w schemacie jako wspólny człon wszystkich trzech obwodów.

Po wyłączeniu wspólnego czynnika $(a+b)$ przechodzi się do ustalenia pozostałych czynników wyrażeń strukturalnych obwodów W, X, Y. W tym celu sporządzić trzeba oddzielne siatki stanów dla każdego obwodu (rys. 90b, c i d). W każdej siatce należy wyeliminować zera, wpisane w polach kolumny *00*, zaznaczając w ten sposób, że pola te zostały już uwzględnione w wydzielonej podgrupie $(a+b)$.

Z obwodów W, X, Y można wyodrębnić wspólną część A, wtedy gdy wyrażenie strukturalne każdego z tych obwodów daje się przedstawić w postaci iloczynów $W = AW'$, $X = AY'$, $Y = AY'$ (rys. 90e i f). Przedstawione wyżej wyrażenia strukturalne, na podstawie wzoru (19), można zapisać również w postaci różnicy $W = W'-\bar{A}$; $X = X'-\bar{A}$; $Y = Y'-\bar{A}$. Ta postać wyrażeń mówi, że bez względu na to, czy podgrupy W', X' i Y' przyjmują w polach podgrupy A wartość 0 czy 1, przemnożenie ich przez podgrupę zerową A daje w rezultacie wyrażenia W, X i Y, które w polach podgrupy A przybierają zawsze wartość 0.

Spostrzeżenie to daje większą swobodę w ustalaniu podgrup W', X' i Y'. Nie muszą to być bowiem pojedyncze lub złożone podgrupy zerowe, pozostałe po wyłączeniu podgrupy A, lecz mogą być również wyrażenia, złożone albo z podgrup zerowych, albo jedynkowych, odpowiadających ustalonym stanom w polach nie objętych podgrupą A oraz dowolnym stanom w polach A. Dlatego właśnie można było przekreślić symbole 0 w polach podgrupy A.

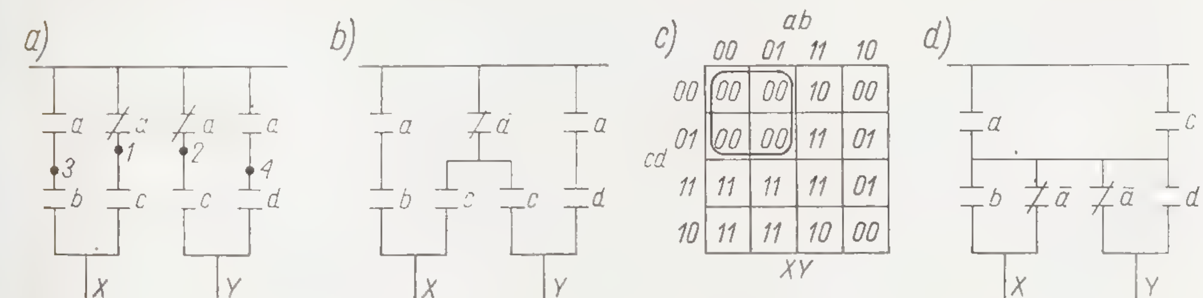
Przystępując do ustalenia wyrażenia strukturalnego W' można ułożyć je z podgrup zerowych $\bar{a}$ i d, obwiedzionych na rys. 90b liniami przerywanymi *1* i *2*, albo też przyjąć, że wyrażenie W' jest utworzone przez podgrupę jedynkową $\bar{a}d$, obwiedzioną na tymże rysunku linią ciągłą *3*. W obu przypadkach otrzymuje się ten sam wynik $W' = \bar{a}d$. Jednak w niektórych przypadkach możliwość utworzenia wyrażenia strukturalnego W' z podgrup jedynkowych może okazać się korzystniejsza.

W podobny sposób można ustalić wyrażenia dla pozostałych gałęzi układu $X' = \bar{d}+ac$; $Y' = \bar{b}$. W rezultacie otrzymuje się

$$W = (a+b)\,\bar{a}d; \qquad X = (a+b)\,(ac+\bar{d}); \qquad Y = (a+b)\,\bar{b}.$$

Odpowiedni schemat układu podano na rys. 90 g.

Inny przykład przeprowadzenia redukcji zestyków, powtarzających się w różnych obwodach układu, podano na rys. 91. Pierwsza wersja schematu (rys. 91a)



Rys. 91. Przykład zastosowania zasady przedstawionej na rys. 90

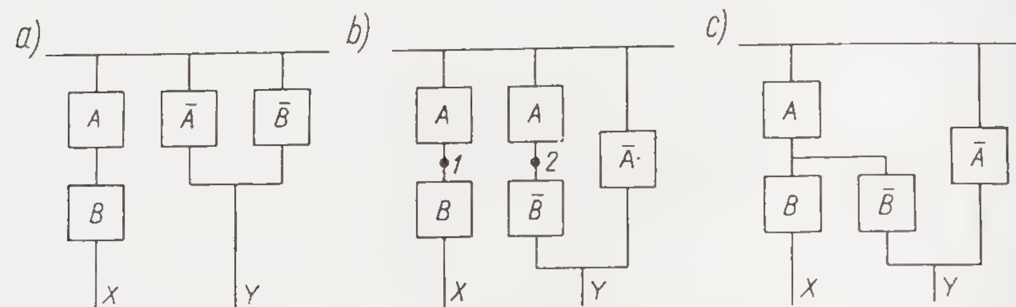
zostaje uproszczona w wyniku przeanalizowania możliwości połączeń przewodów *1* i *2* oraz *3* i *4* (rys. 91b). Schemat d) uzyskano metodą wydzielenia wspólnej podgrupy zerowej $(a+c)$. Na rysunku podano jedynie siatkę stanów z zaznaczeniem wspólnej podgrupy i wyniki końcowe.

5. Łączenie zestyków zwiernych i rozwiernych w pary

W rozdziale drugim wyjaśniono, że przy stosowaniu przekaźników małogabarytowych, wyposażonych wyłącznie w zestyki przełączające, istotne znaczenie dla minimalizacji układu ma taka konfiguracja zestyków, aby jak najwięcej par zestyków zwiernych i rozwiernych połączonych było wspólnym przewodem. Pozwala to na pełne wykorzystanie przełączających zestyków przekaźnika.

Jeżeli wyrażenie strukturalne jednej gałęzi obwodu lub układu jest negacją wyrażenia strukturalnego drugiej gałęzi, to w obu gałęziach można zawsze tak przemieścić zestyki, że wszystkie pary będą odpowiadały wymaganiom zestyków przełączających.

Ogólny przypadek tego rodzaju przedstawiono na rys. 92. Obwód X składa się z dwóch połączonych szeregowo obwodów AB, obwód zaś Y, będący negacją obwodu X, składa się z sumy $\bar{A}+\bar{B}$. Na podstawie wzoru (14a) można napisać $\bar{A}+\bar{B} = \bar{A}+A\bar{B}$ i wykorzystując tę równoważność narysować układ w nowej postaci (rys. 99b). Patrząc na rysunek widać, że można połączyć ze sobą przewody *1* i *2* co w rezultacie prowadzi do schematu c), w którym każda para obwodów częściowych (A i $\bar{A}$; B i $\bar{B}$) jest ze sobą połączona wspólnym przewodem.

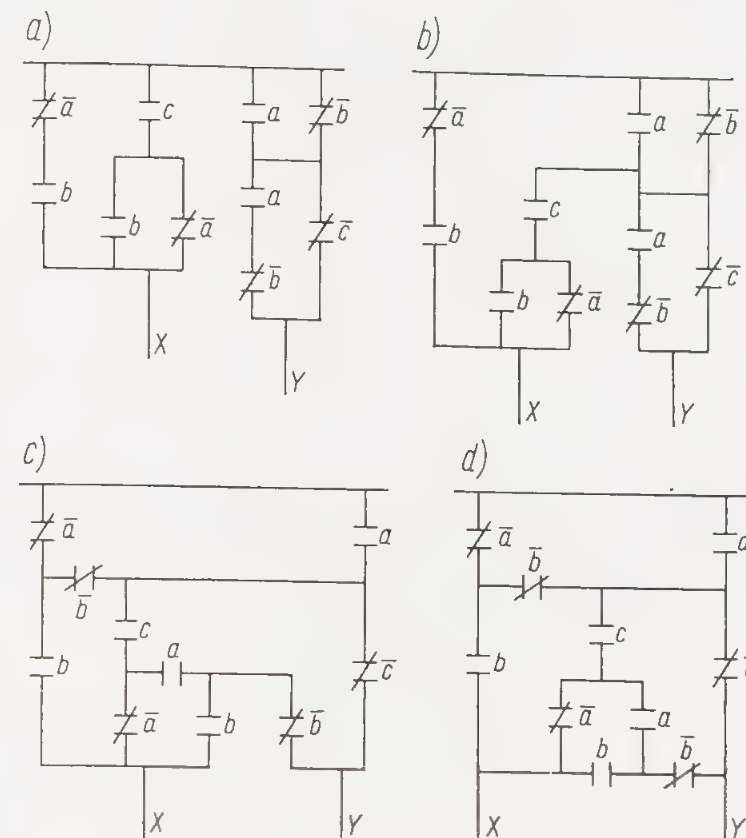


Rys. 92. Zasada łączenia w zespoły przełączające dwóch dopełniających się wzajemnie obwodów

Jeżeli A i B nie są zestykami pojedynczymi, lecz obwodami złożonymi z kilku zestyków, można zawsze jeden z tych obwodów rozłożyć na dwa mniejsze połączone szeregowo, a drugi obwód — na ich dopełnienia (negacje) połączone równolegle. Powtarzanie tej operacji doprowadzi w końcu do takiego rozmieszczenia zestyków zwiernych i rozwiernych, że każda ich para będzie miała jeden wspólny przewód. Technika takiego stopniowego postępowania wyjaśniona będzie na przykładzie układu, przedstawionego na rys. 93.

Po stwierdzeniu, że $X = \bar{a}b+c(\bar{a}+b) = \bar{Y} = [(a+b)(\bar{c}+ab)]$ i porównaniu z rys. 92a można przyjąć, że $A = a+\bar{b}$; $\bar{A} = \bar{a}b$; $B = \bar{c}+a\bar{b}$; $\bar{B} = c(\bar{a}+b)$. Przerysowując schemat rys. 92a i wprowadzając zamiast symboli A, $\bar{A}$, B i $\bar{B}$ odpowiednie obwody zgodnie z podanymi wyżej ich wyrażeniami strukturalnymi, otrzyma się schemat rys. 93b. W schemacie tym oprócz zestyków przełączających a, $\bar{a}$ występuje już druga podobna para c, $\bar{c}$.

Z kolei przystępuje się do drugiego etapu przegrupowań zestyków, polegającego na powtórzeniu opisanej operacji w odniesieniu do innych par dopełniających się obwodów. Warunkiem, umożliwiającym przeprowadzenie przegrupowania jest fakt posiadania przez oba obwody danej pary jednego przewodu wspólnego.



Rys. 93. Przykład wykorzystania zasady przedstawionej na rys. 92

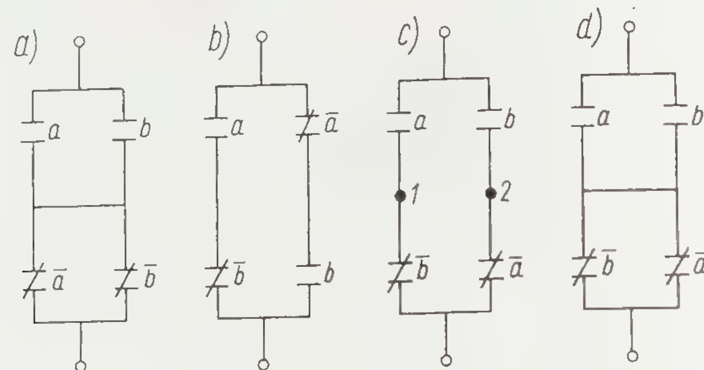
Taką właśnie parę stanowi obwód $\bar{a}b$ i jego dopełnienie $a+\bar{b}$ oraz para obwodów $c(\bar{a}+b)$ i $\bar{c}+a\bar{b}$. Nie odpowiada natomiast podanemu wyżej warunkowi para obwodów $a\bar{b}$ i $\bar{a}+b$, ponieważ nie ma ona wspólnego przewodu. Stosując względem obu par przegrupowania wyjaśnione na rys. 92, otrzymuje się schemat rys. 93e, w którym wszystkie zestawy zestyków zwierno-rozwiernych tworzą pary przełączające. Na rysunku d) przedstawiono obwody X i Y z tym samym co uprzednio ugrupowaniem zestyków, lecz w przyjemniejszym dla oka układzie graficznym.

Przy grupowaniu zestyków w pary przełączające można niejednokrotnie wykorzystać równoważne odmiany obwodów, złożonych z dwóch par zestyków przełączających (rys. 94).

Schemat rys. 94 a odpowiada wyrażeniu strukturalnemu $(a+b)(\bar{a}+\bar{b})$. Po otwarciu nawiasów otrzymuje się $(a+b)(\bar{a}+\bar{b}) = a\bar{b}+\bar{a}b$.

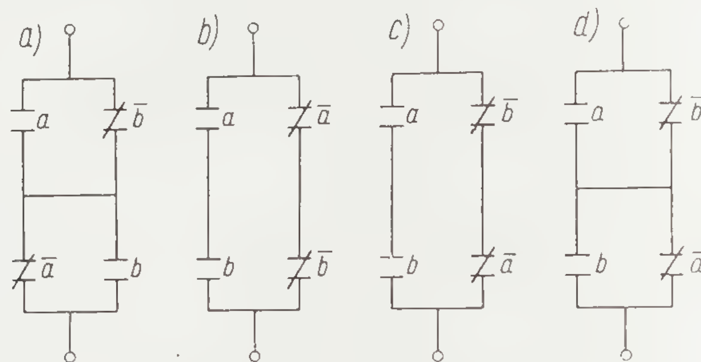
Tej drugiej postaci wyrażenia odpowiada schemat b). Zmieniając położenie zestyków w linii łączeń $\bar{a}b$ otrzymuje się analogiczny obwód przedstawiony na schemacie c). Zmieniając zaś na schemacie a) położenie zestyków $\bar{a}$ i $\bar{b}$ w linii przerw, otrzyma się schemat d). Porównując schemat c) ze schematem d) można stwierdzić, że połączenie przewodów *1* i *2* w schemacie c) nie zmienia funkcji obwodu. Jest to zrozumiałe, ponieważ połączenie takie wprowadza jedynie stale otwarte gałęzie $a\bar{a}$ i $b\bar{b}$.

Analogiczny ciąg równoważnych schematów podano na rys. 95. Przeprowadzając negację strukturalnego wyrażenia schematu a) otrzymuje się $\overline{(a+\bar{b})(\bar{a}+b)} = \bar{a}\bar{b}+ab$, a więc schemat b). Ponieważ wszystkie schematy przedstawione na



Rys. 94. Równoważne odmiany obwodu $a\bar{b}+\bar{a}b$

rys. 94 stanowią jedynie warianty tego samego schematu, podobnie jak schematy przedstawione na rys. 95, można dojść do wniosku, że każdy obwód z rys. 95 jest dopełnieniem odpowiedniego obwodu z rys. 94 i odwrotnie.



Rys. 95. Równoważne odmiany obwodu $ab+\bar{a}\bar{b}$

Równoważność obwodów, pokazanych na obu rysunkach można wykorzystać przy łączeniu zestyków w pary przełączające w przypadku, gdy w jednej gałęzi występują połączone szeregowo takie same zestyki, jak w gałęzi drugiej, lecz stanowiące ich dopełnienia.

Przykład podany na rys. 96a jest nieomal identyczny z przykładem pokazanym na rys. 95b. Jedyna różnica polega na tym, że na rys. 96a, występuje obwód rozgałęziony. Przejście z jednego schematu (rys. 96a) do drugiego schematu (rys. 96b) nie wymaga objaśnień z uwagi na analogię do rys. 95b i 95d.

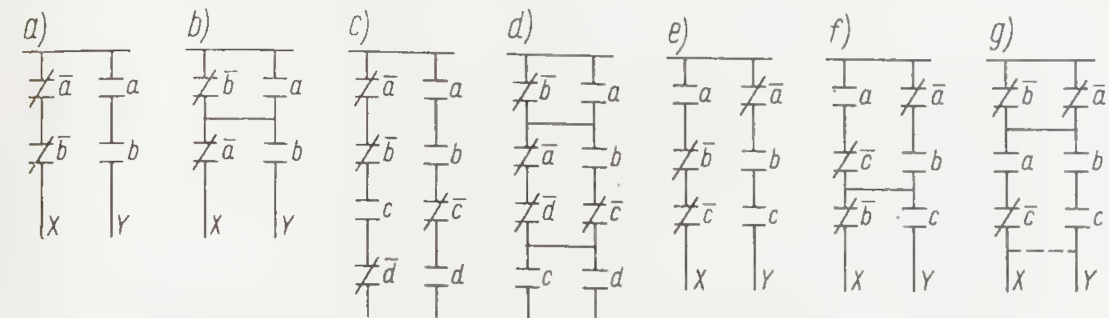
Przy większej liczbie zestyków w jednej gałęzi postępuje się w następujący sposób:

1) w obu gałęziach porządkuje się zestyki według tej samej kolejności oznaczeń literowych (rys. 96c).

2) w jednej gałęzi grupuje się zestyki kolejno po dwa (np. na rys. 96c w lewej gałęzi $\bar{a}$ z $\bar{b}$, c z $\bar{d}$) i w każdej takiej dwójce zestyki zamienia się miejscami między sobą ($\bar{b}-\bar{a}$; $\bar{d}-c$) (rys. 96d).

3) aby utworzyć pary zestyków przełączających (rys. 96d), łączy się gałęzie poprzecznymi przewodami. Jak łatwo sprawdzić, połączenia te nie wprowadzają do obwodów dodatkowych gałęzi zamkniętych (dodatkowych linii łączeń).

Jeżeli w każdej z gałęzi obwodu rozgałęzionego występuje nieparzysta liczba zestyków, grupowanie po dwa (i następnie zamienianie miejscami) należy rozpoczynać od otwartych końców gałęzi (rys. 96e i f). Gdyby grupowanie to rozpocząć od przeciwnej strony obwodu rozgałęzionego, pozostałaby jedna para zestyków nie dająca się połączyć w zestyk przełączający (zestyki c i $\bar{c}$ na rys. 96g).



Rys. 96. Szczególny przypadek grupowania zestyków w pary przełączające

Jeżeli gałęzie omawianego rodzaju występują jako linie łączeń tego samego obwodu, to jest zupełnie obojętne, od którego końca rozpoczyna się grupowanie par zestyków. Wyjaśnia to linia przerywana na rys. 96g.

Rozdział siódmy

Synteza obwodów jednotaktowych

1. Zasady syntezy obwodów jednotaktowych

W rozdziale pierwszym jako jeden z przykładów obwodu jednotaktowego podano obwód zaświecania i gaszenia lampy z dwóch punktów (rys. 8c). Poniżej podany będzie przebieg rozumowania, prowadzący do uzyskania wzoru strukturalnego tego obwodu.

Z założenia wynika, że w obwodzie są dwa przełączniki dwupołożeniowe A i B. Ponieważ są to przełączniki stabilizowane, trzeba ustalić (w sposób zupełnie dowolny), w którym położeniu każdego przełącznika jego stan będzie oznaczany przez 1, a w którym przez 0. Można przyjąć np., że przez 0 będą oznaczane stany początkowe przełączników A i B, gdy lampa jest zgaszona ($L = 0$).

Fakt, że oba przełączniki znajdują się w stanie 0, można zanotować albo jako $A+B = 0$ albo jako $\bar{A}\bar{B} = 1$.

Przestawienie któregokolwiek z przełączników powinno zaświecić lampę (zamknąć jej obwód), a więc będzie $L = 1$, gdy albo $\bar{A}B = 1$, albo też $A\bar{B} = 1$.

Gdy którykolwiek z przełączników zostanie powtórnie przestawiony, lampa znowu zgaśnie ($L = 0$). Przestawienie jednego z przełączników w sytuacji, gdy $\bar{A}B = 1$, powoduje, że albo oba znajdują się w położeniu 0 ($\bar{A}\bar{B} = 1$), albo oba — w położeniu 1 ($AB = 1$). Ta sama sytuacja powtórzy się, gdy lampa zostanie zgaszona po zaświeceniu jej przełącznikiem A, wtedy ze stanu $A\bar{B} = 1$ przechodzi się albo do $AB = 1$ albo $\bar{A}\bar{B} = 1$.

Na podstawie rozważonych sytuacji można stwierdzić, że $L = 1$, gdy albo $\bar{A}B = 1$ albo też $A\bar{B} = 1$. Wynika stąd, że $L = \bar{A}B+A\bar{B}$.

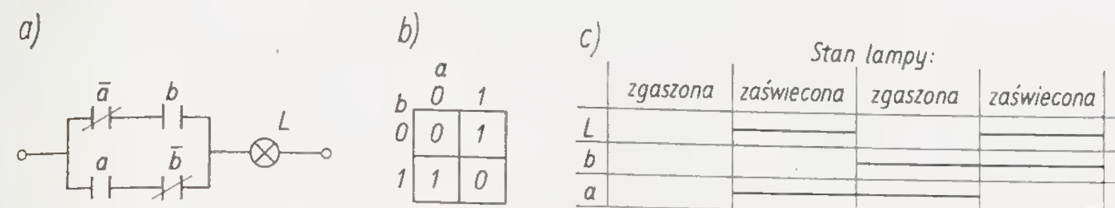
Oznaczając małymi literami zestyki przełączników (a — zamknięte, gdy $A = 1$, $\bar{a}$ — zamknięte, gdy $\bar{A} = 1$) można powyższe wyrażenie przekształcić na $L = \bar{a}b+a\bar{b}$.

Schemat obwodowy, odpowiadający temu wyrażeniu przedstawiono na rys. 97a, natomiast schemat montażowy tego obwodu — na rys. 8c.

Można również ustalić wyrażenie strukturalne obwodu dla przypadków, gdy lampa jest zgaszona ($L = 0$), czyli, gdy albo $\bar{A}\bar{B} = 1$, albo $AB = 1$, a więc gdy $\bar{A}\bar{B}+AB = 1$. Ponieważ nie można porównywać stanu 1 ze stanem 0, trzeba albo stan lampy zgaszonej zastąpić przez negację, pisząc $\bar{L} = 1 = \bar{A}\bar{B}+AB$, stąd $L = (A+B)(\overline{A}+\overline{B})$, albo też przeprowadzić negację sumy $\bar{A}\bar{B}+AB = 1$ i napisać $(A+B)(\overline{A}+\overline{B}) = 0 = L$. Oba te wyrażenia są identyczne między sobą i identyczne z otrzymanym poprzednio wyrażeniem $L = \bar{A}B+A\bar{B}$.

Przy projektowaniu bardziej złożonych obwodów jednotaktowych można posługiwać się albo odpowiednio wypełnioną siatką stanów, albo też diagramem programu łączeń, bardzo wygodnym przy syntezie tego typu obwodów. Oba te sposoby będą wyjaśnione w odniesieniu do wyżej rozpatrzonego przykładu.

Na rysunku 97b przedstawiono siatkę stanów, w której w pola $\bar{a}\bar{b}$ i ab wpisano 0 (lampa zgaszona), w pola zaś $\bar{a}b$ i $a\bar{b}$—1 (lampa zaświecona). W siatce są więc dwie podgrupy jedynkowe $\bar{a}b$ i $a\bar{b}$ oraz dwie zerowe $(a+b)$ i $(\bar{a}+\bar{b})$, a zatem $L = \bar{a}b+a\bar{b} = (a+b)(\bar{a}+\bar{b})$.



Rys. 97. Obwód zaświecania i gaszenia lampy z dwóch punktów: a) schemat obwodu; b) siatka stanów obwodu; c) diagram programu sterowania

W zapisie programu sterowania, przedstawionym na rys. 97c, stany sygnałów wejściowych (a i b) oraz wyjściowych (L) notuje się w poziomych wierszach, rysując w danym wierszu kreskę na długości odpowiadającej taktom pracy, podczas których stan danego sygnału równa się 1. Poszczególnym taktom pracy odpowiadają kolumny diagramu. Na rys. 97c są cztery różne takty, odpowiadające czterem możliwym kombinacjom stanów sygnałów a i b. Jak widać takty odpowiadające stanowi $L = 1$ różnią się od taktów, w których $L = 0$ tym, że gdy $L = 1$, to tylko jeden z sygnałów wejściowych równa się 1, podczas gdy drugi równa się 0. Ten związek w notacji algebraicznej przedstawia się jako $L = \bar{a}b+a\bar{b}$.

Mimo że w układach sterowania przekaźnikowego obrabiarek stosunkowo rzadko spotyka się obwody jednotaktowe, to jednak zdarzają się przypadki, że cały automatyczny cykl pracy obrabiarki można uzyskać przy pomocy obwodów jednotaktowych. Ma to miejsce wtedy, gdy każdemu stanowi wyjść odpowiada określony stan sygnałów wejściowych, a więc na przykład w obrabiarce ze sterowaniem automatycznym przy zastosowaniu zderzaków długich do przestawiania łączników drogowych.

Układ sterowania cyklem pracy obrabiarki oparty na obwodach jednotaktowych można również uzyskać, gdy zadaniem układu jest sterowanie posuwu naprzemian w dwóch różnych osiach i gdy cykl automatyczny jest zamknięty, to znaczy kończy się zatrzymaniem napędzanego zespołu w jego położeniu wyjściowym.

Na rysunku 98a przedstawiono diagram cyklu pracy, a na rys. 98b ideowy schemat sterowania elektro-hydraulicznego posuwów obrabiarki (np. frezarki), w której cykl pracy składa się z czterech taktów:

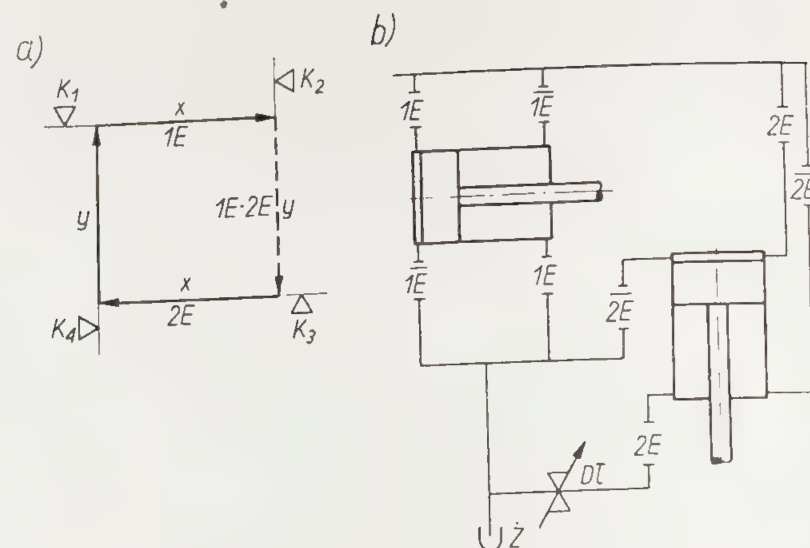
Takt 1 i *2*. Szybki przesuw w prawo (do przedmiotu obrabianego). W obu taktach jest załączony elektrozawór *1E* oraz pozostaje naciśnięty łącznik drogowy K_1. Prócz tego w takcie *1* jest naciśnięty również łącznik K_4.

Takt 3 i *4*. Posuw roboczy w dół. Załączone są elektrozawory *1E* i *2E*. W obu taktach pozostaje naciśnięty łącznik K_2, a w takcie *3* — również łącznik K_1.

Takt 5 i *6*. Szybkie wycofanie w lewo. Załączony tylko elektrozawór *2E*. W obu taktach pozostaje naciśnięty łącznik K_3, a w takcie *5* — również K_2.

Takt 7 i *8*. Szybkie wycofanie do góry. Oba elektrozawory wyłączone. W obu taktach pozostaje naciśnięty łącznik K_4, a w takcie *7* — również K_3.

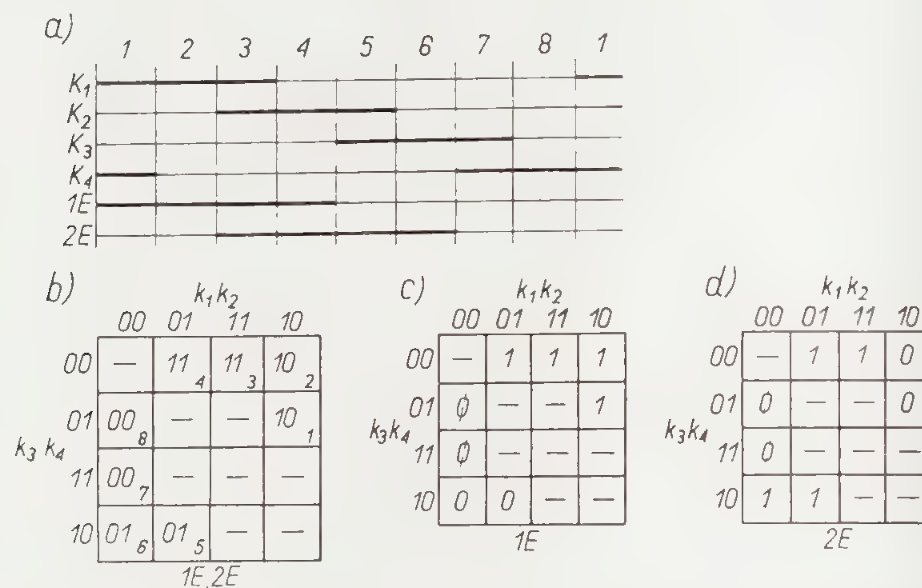
Łączniki drogowe mają tu za zadanie przekazywanie do układu jedynie poleceń załączenia nowego napędu, natomiast zatrzymywanie napędu odpowiedniego zespołu obrabiarki w każdym z położeń krańcowych zapewniają twarde zderzaki.



Rys. 98. Przykład sterowania automatycznego obrabiarki: a) diagram pracy; b) obwodowy schemat układu hydraulicznego

Na rysunku 99a przedstawiono diagram programu sterowania pracy obrabiarki w cyklu podzielonym jak wyżej na osiem taktów.

Z diagramu tego można odczytać, że $1E = 1$, gdy w stanie wymuszonym znajduje się albo łącznik K_1 albo łącznik K_2, oraz gdy łącznik K_3 nie jest naciśnięty. Stwierdzenie powyższe można zanotować w postaci $1E = \bar{k}_3(k_1+k_2)$. Ten sam diagram pozwala również na ustalenie innego wyrażenia strukturalnego obwodu wzbudzenia $1E$, a mianowicie $1E = \bar{k}_3(k_1+\bar{k}_4)$.



Rys. 99. Diagram i siatki wyjść dla przykładu z rys. 98: a) diagram programu pracy; b) siatka wyjść; c) siatka stanów elektrozaworu $1E$; d) siatka stanów elektrozaworu $2E$

Podobnie dla obwodu $2E$ można znaleźć dwa wyrażenia strukturalne $2E = \bar{k}_4(k_2+k_3)$ oraz $2E = \bar{k}_4(\bar{k}_1+k_2)$.

Jeszcze łatwiej jest określić szukane wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia $1E$ i $2E$, wpisując do siatki *Karnaugha* (rys. 99b) na podstawie diagramu (rys. 99a) stany wzbudzenia $1E$ i $2E$ i oznaczając przez 1 stan zamknięcia obwodu wzbudzenia, przez 0 stan jego otwarcia. Tak wypełniona siatka *Karnaugha*, podająca odwzorowanie stanu wyjść w funkcji stanu wejść nazywa się siatką stanu wyjść.

W celu lepszego zorientowania czytelnika w sposobie wypełnienia siatki wyjść w rogach jej pól (rys. 99b) wpisano numery taktów z diagramu. W siatce pozostało osiem pól nie wypełnionych; odpowiadają one takim stanom wejść, jakie nie mogą się pojawić podczas pracy obrabiarki (tak np. nigdy nie występuje sytuacja, w której wszystkie łączniki drogowe znajdowałyby się w stanach swobodnych, albo w której łączniki K_2 i K_4 byłyby jednocześnie w stanie wymuszonym itp.). W tych polach można wpisać dowolne stany wyjść bez jakiegokolwiek wpływu na przebieg sterowania cyklem pracy przez układ wyznaczony na podstawie wypełnionej siatki wyjść. Mówimy, że w tych polach występują stany obojętne, co na rys. 99b do *d* zaznaczono wpisaniem kresek do tych pól. Problem stanów obojętnych omówiony będzie szczegółowiej w rozdziale dziewiątym. Należy zwrócić uwagę, że występowanie stanów obojętnych w siatce pozwala na znaczne uproszczenie wyrażeń strukturalnych.

Korzystając z siatki wyjść (rys. 99b) można sprawdzić poprawność ustalonych poprzednio wyrażeń strukturalnych obwodów wzbudzenia $1E$ i $2E$. Próbując zaś ustalić wyrażenia strukturalne na podstawie tej siatki, wykorzystuje się podany w poprzednim rozdziale sposób ustalania wspólnego członu dla dwóch różnych obwodów przez znalezienie sumy określającej wspólną podgrupę zerową obwodów $1E$ i $2E$; będzie to oczywiście suma $(k_1+\bar{k}_4)$.

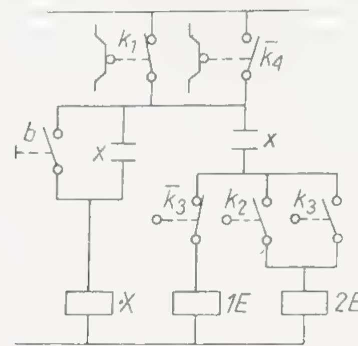
Można teraz narysować oddzielne siatki stanów wzbudzenia dla obwodu $1E$ (rys. 99c) i $2E$ (rys. 99d). W polach odpowiadających taktom *7* i *8* przekreśla się zapis stanów 0, ponieważ stany te zostały już uwzględnione przez człon $(k_1+\bar{k}_4)$, a tym samym przy ustalaniu dalszych członów wyrażeń strukturalnych stany wzbudzenia w tych polach można traktować jako obojętne. Na podstawie siatek (rys. 99c i d) ustala się dalsze człony wyrażeń strukturalnych $1E$ i $2E$ jako $\bar{k}_3$ i $(\bar{k}_1+k_2)$ lub (k_2+k_3). Po uwzględnieniu wspólnego członu otrzymuje się $1E = (k_1+\bar{k}_4)\,\bar{k}_3$; $2E = (k_1+\bar{k}_4)(\bar{k}_1+k_2)$, albo $2E = (k_1+\bar{k}_4)(k_2+k_3)$.

Przystępując do syntezy omawianego układu stan początkowy obrabiarki $(k_1 k_4 = 1)$ potraktowano jako sygnał uruchomienia pracy w cyklu. W rezultacie ustalone wyżej wyrażenia strukturalne prowadzą do układu sterującego pracą obrabiarki w cyklu wielokrotnym. Powrót do położenia wyjściowego jest sygnałem startu do następnego cyklu. Aby uzyskać pracę w cyklu pojedynczym, trzeba układ uzupełnić przekaźnikiem pośredniczącym X, załączającym pracę po naciśnięciu przycisku B i zapewniającym samoczynne wyłączenie napędu z chwilą powrotu do położenia wyjściowego. Obwód przekaźnika X będzie już jednak należał do obwodów wielotaktowych, których synteza będzie omówiona w rozdziale dziewiątym. W rozpatrywanym przypadku obwód ten można bez trudu zaprojektować metodą pół-intuicyjną. Do obwodu tego będzie niewątpliwie należał zestyk zwierny b przycisku B, połączony równolegle z zestykiem x, podtrzymującym zasilanie obwodu wzbudzenia. Przerwanie obwodu wzbudzenia X powinno nastąpić po zakończeniu pracy przez obrabiarkę, kiedy posuw wycofania odbywa się przy nie wzbudzonych elektrozaworach, a więc w takcie *8*, a nawet już w takcie *7*. Należy więc znaleźć taką kombinację zestyków łączników drogowych, która przerywałaby obwód wzbudzenia X w *8* (albo w *7* i *8*) takcie, nie przerywając go w taktach pozostałych. Z siatki wyjść rys. 99b można odczytać, że warunkowi temu odpowiada równoległe połączenie zestyku k_1 z zestykiem $\bar{k}_4$.

Dochodzi się więc do następujących wyrażeń strukturalnych obwodów wzbudzenia X, $1E$ i $2E$:

$$X = (k_1+\bar{k}_4)(b+x); \qquad 1E = (k_1+\bar{k}_4)\,\bar{k}_3\, x; \qquad 2E = (k_1+\bar{k}_4)(k_2+k_3)\, x$$

Na rysunku 100 przedstawiono schemat zaprojektowanego układu.

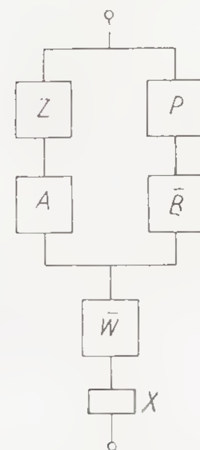


Rys. 100. Schemat obwodowy zaprojektowanego układu wg rys. 98 i 99

2. Projektowanie obwodów wielotaktowych metodą syntezy obwodów jednotaktowych

W rozdziale dziewiątym zostanie szczegółowo omówiona metoda syntezy obwodów wielotaktowych przy użyciu siatek przejść, opracowana przez *D. A. Huffmana*; natomiast w rozdziale dziesiątym omówiona będzie metoda syntezy tych obwodów przy użyciu uproszczonych siatek przejść, w odmianie opracowanej przez autora niniejszej książki.

W wielu przypadkach celowe jest rozłożenie obwodu wielotaktowego na oddzielne człony, mające charakter obwodów jednotaktowych i projektowanie obwodu wielotaktowego metodami syntezy obwodów jednotaktowych. Teorię tego rodzaju syntezy opracował *J. Siwiński*, a opartą na jej podstawie metodę syntezy nazwał syntezą za pomocą tablic kolejności łączeń. Poniżej zostanie omówiona podobna metoda syntezy, przystosowana do potrzeb układów sterowania obrabiarek.



Rys. 101. Wielotaktowy obwód sterowania w ujęciu ogólnym

W ogólnym przypadku obwód wielotaktowy można rozłożyć na człony (podobwody) jednotaktowe, jak przedstawiono na rys. 101. Według tego rysunku wyrażenie strukturalne obwodu wielotaktowego X ma postać $X = (AZ+\bar{B}P)\,\bar{W}$.

Każdy z członów obwodu (każda z podgrup wyrażenia strukturalnego X) spełnia inną rolę w obwodzie.

1. Człon Z jest obwodem, załączającym wzbudzenie przekaźnika X. W najprostszym przypadku będzie to zestyk zwierny przycisku sterowniczego „start", w przypadku ogólnym będzie to obwód, złożony z dwóch lub więcej równoległych gałęzi $Z = Z_1+Z_2+Z_3+ \ldots$, przekazujących do obwodu sygnał załączenia przekaźnika X w różnych taktach cyklu pracy obrabiarki.

2. Człon A ma za zadanie zabezpieczyć przed załączeniem przekaźnika X do momentu spełnienia ustalonych warunków początkowych. Jest to więc obwód otwarty dopóty, dopóki przed załączeniem przekaźnika X nie zostaną spełnione warunki początkowe. Po załączeniu przekaźnika X stan obwodu A nie ma żadnego wpływu na stan wzbudzenia X.

3. Człon P ma za zadanie podtrzymanie zasilania wzbudzenia przekaźnika X, gdy po załączeniu przekaźnika zostanie otwarty obwód załączający Z, albo obwód zabezpieczający A, albo też oba te obwody razem. Najczęściej człon P jest zredukowany do zestyku zwiernego x przekaźnika X.

4. Człon $\bar{B}$ ma za zadanie warunkowe przerwanie obwodu wzbudzenia X, otwarcie tego członu powoduje bowiem wyłączenia przekaźnika X tylko wtedy, gdy w tym czasie jest również otwarta gałąź AZ ($AZ = 0$).

5. Człon $\bar{W}$ ma za zadanie bezwarunkowe przerwanie obwodu wzbudzenia przekaźnika X, a więc jego otwarcie zawsze powoduje natychmiastowe wyłączenie przekaźnika X.

Ostatnie dwa człony oznaczono literami ze znakiem negacji, ponieważ przy ustalaniu ich wyrażeń strukturalnych wychodzi się najczęściej z warunków, w jakich powinno nastąpić otwarcie obwodu wzbudzenia X. Obwody te odpowiadają więc podgrupom zerowym wyrażenia strukturalnego obwodu X. Jeśli na przykład ustali się, że warunkiem bezwzględnego przerwania obwodu X jest albo naciśnięcie łącznika drogowego $K_1(k_1 = 1)$, albo też naciśnięcie łącznika K_2, przy jednoczesnym naciśnięciu łącznika $K_3(k_2\, k_3 = 1)$, to warunki te zanotuje się jako $W = k_1+k_2\, k_3$. Obwód X zostanie przerwany, gdy $W = 1$. Obwód nie będzie przerwany, gdy $W = 0$, a więc gdy $\bar{W} = \bar{k}_1(\bar{k}_2+\bar{k}_3) = 1$. Tę podgrupę wstawia się do wyrażenia strukturalnego obwodu X.

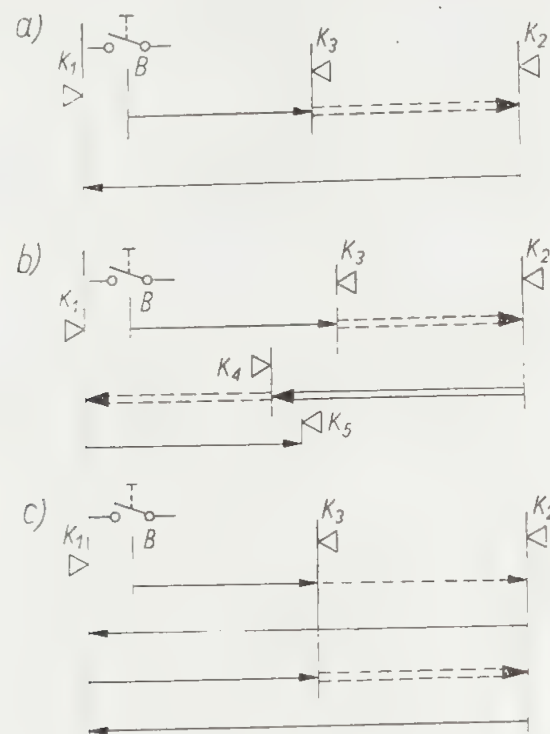
Technikę syntezy obwodów wielotaktowych wynikającą z omówionej wyżej zasady wyjaśnimy na dwóch przykładach szczegółowych.

Przykład 1. Podczas pracy w cyklu automatycznym stół frezarki przesuwa się wraz z obrabianym przedmiotem według jednego z diagramów podanych na rys. 102. Na rysunku tym K_1 i K_2 oznaczają odpowiednio lewy i prawy łącznik krańcowy, K_3 — łącznik drogowy przełączający posuw szybki na roboczy przy ruchu w prawo, K_4 — przełączający przy ruchu w lewo; K_5 — kończący pracę w cyklu nr 2; liniami ciągłymi oznaczono szybki posuw, przerywanymi — posuw roboczy; wreszcie linie podwójne oznaczają odcinki pracy przy nieco opuszczonym (około 1 mm) wrzecienniku. Należy zaprojektować obwód przekaźnika D załączającego opuszczenie (doskok) wrzeciennika; gdy $D = 0$, wrzeciennik znajduje się w wyższym położeniu, w niższym zaś — gdy $D = 1$

Ponieważ przebieg sterowania wzbudzeniem przekaźnika D zależy od rodzaju cyklu pracy frezarki, w obwodzie wzbudzenia D będą się znajdowały zestyki przełącznika selekcyjnego S. Oznaczmy przez s_1 zestyk tego przełącznika zamknięty w cyklu nr 1; przez s_2 — w cyklu nr 2 i przez s_3 — w cyklu nr 3.

Z konstruktorem obrabiarki uzgodniono, że łączniki K_3 i K_4 powodują wyłączenie szybkiego posuwu i załączenie posuwu roboczego, jeżeli w tym takcie cyklu nie zostaje załączony doskok wrzeciennika; jeżeli zaś łącznik K_3 lub K_4

przekazuje sygnał doskoku wrzeciennika (powoduje załączenie przekaźnika D), to wtedy najpierw zostaje wyłączony posuw szybki (załączony przez przekaźnik R) bez załączenia posuwu roboczego (przekaźnik posuwu roboczego Q_0 pozostaje przez chwilę jeszcze nie załączony). Posuw roboczy zostaje załączony dopiero po przestawieniu wrzeciennika w niższe położenie. W celu zabezpieczenia się przed skutkami ewentualnej niesprawności układu postawiono warunek, że przekaźnik D może zostać załączony jedynie przy zatrzymanym posuwie szybkim i roboczym ($R = 0$ i $Q_0 = 0$).



Rys. 102. Diagramy pracy frezarki dla trzech różnych cykli do przykładu 1

Omówiony wyżej warunek wyznacza od razu człon A (rys. 101) jako $A = \bar{r}\bar{p}$. Sygnałem załączenia przekaźnika D (obwód Z na rys. 101) w cyklach nr 1 i 2 jest naciśnięcie łącznika K_3, a w cyklu nr 3 również naciśnięcie tego łącznika, jednak nie pierwsze lecz drugie z kolei. Człon podtrzymujący zasilanie wzbudzenia można niewątpliwie zredukować do zestyku d. Człon warunkowego przerwania obwodu D w omawianym przykładzie nie będzie w ogóle występował.

Przystępujemy do ustalania wyrażenia strukturalnego członu Z. Jak to stwierdzono wyżej, w pierwszym i drugim cyklu sygnałem załączenia jest naciśnięcie K_3, a więc $Z = (s_1+s_2)\,k_3+s_3\cdot\varphi$, gdzie φ jest sygnałem załączenia w cyklu 3. Jak ustalono, będzie nim drugie z kolei naciśnięcie łącznika K_3, które można inaczej określić jako pierwsze naciśnięcie po dojściu stołu do prawego położenia krańcowego (do łącznika K_2). Z tego warunku wynika konieczność wprowadzenia przekaźnika pamięci (oznaczymy go przez Y), który byłby załączany na przykład przez sygnał k_2, wyłączany zaś po załączeniu przekaźnika D, a więc np. przez sygnał d. Stąd wyrażenie strukturalne obwodu wzbudzenia $Y = (k_2+y)\,\bar{d}$. Mając już sygnał pamięci dojścia stołu do krańcowego położenia prawego można napisać, że $\varphi = k_3 y$. Otrzymuje się więc wyrażenie strukturalne obwodu $Z = (s_1+s_2)\,k_3+s_3\,yk_3 = (s_1+s_2+s_3\,y)\,k_3$.

Ustalając z kolei wyrażenie strukturalne członu $\overline{W}$ bezwarunkowego wyłączenia przekaźnika D można stwierdzić, że sygnałem wyłączenia w cyklach

pierwszym i trzecim jest k_2, w cyklu zaś drugim — k_1, a więc $W = (s_1+s_3)\,k_2+s_2\,k_1$, skąd $\overline{W} = (\bar{s}_1\,\bar{s}_3+\bar{k}_2)\,(\bar{s}_2+\bar{k}_1)$.

Przełącznik selekcyjny S jest przełącznikiem wielopołożeniowym (w tym przykładzie — trójpołożeniowym), a więc w odniesieniu do jego zestyków należy nieco inaczej odczytywać symbole oznaczone znakami negacji, niż w przypadku łączników dwupołożeniowych. Tym razem $\bar{s}_2$ oznacza zestyk, który nie jest zamknięty w położeniu drugim, a zatem jest zamknięty w pozostałych położeniach przełącznika (pierwszym i trzecim), czyli $\bar{s}_2 = s_1+s_3$. Podobnie $\bar{s}_1\,\bar{s}_3 = (\overline{s_1+s_3}) = s_2$. Aby otrzymać ostateczną postać wyrażenia strukturalnego $\overline{W}$, należy więc symbole s ze znakiem negacji zastąpić odpowiednimi symbolami s bez znaku negacji, następnie wymnożyć sumy w nawiasach i przeprowadzić redukcję otrzymanej postaci wyrażenia. Do tego samego wyniku można dojść jednak łatwiej, jeżeli wyrażenie $W = (s_1+s_3)\,k_2+s_2\,k_1$ odwzorujemy na siatce (rys. 103), której wier-

$k_1\,k_2$	00	01	11	10
S_1	0	1	—	0
S_2	0	0	—	1
S_3	0	1	—	0

N

Rys. 103. Odwzorowanie obwodu z przykładu 1

sze odpowiadają trzem możliwym położeniom przełącznika selekcyjnego S. Wyrażenie strukturalne członu $\overline{W}$ otrzymuje się, traktując w siatce (rys. 103) pola zerowe jako pola jedynkowe (w tych bowiem polach $\overline{W} = 1$), a więc $\overline{W} = (s_1+s_3)\,\bar{k}_2+s_2\,\bar{k}_1$.

Szukane wyrażenie strukturalne obwodu wzbudzenia przekaźnika D będzie więc miało postać $D = (AZ+d)\,\overline{W} = [\bar{r}\bar{p}\,k_3(s_1+s_2+s_3)\,y+d]\,[(s_1+s_3)\,\bar{k}_2+s_2\,\bar{k}_1]$. Zważywszy, że iloczyny $s_i\,s_k$ równają się 1, gdy $i = k$, gdy zaś $i \neq k$ iloczyny te równają się 0, po przemnożeniu powyższego wyrażenia będzie można uprościć go do postaci

$$D = \bar{r}\bar{p}\,s_1\,\bar{k}_2\,k_3+\bar{r}\bar{p}\,s_3\,\bar{k}_2\,k_3\,y+\bar{r}\bar{p}\,s_2\,\bar{k}_1\,k_3+s_1\,d\bar{k}_2+s_3\,d\bar{k}_2+s_2 d\bar{k}_1$$

Aby uzyskać zminimalizowaną postać tego wyrażenia, należy go jeszcze zfaktoryzować. Faktoryzację można przeprowadzić różnymi drogami, przy czym wybór optymalnej drogi zależy od tego, w którym łączniku chcemy uzyskać maksymalną redukcję zestyków. Zwykle żądanie to dotyczy przełącznika selekcyjnego. Po zfaktoryzowaniu prowadzącym do maksymalnej redukcji zestyków s otrzymuje się

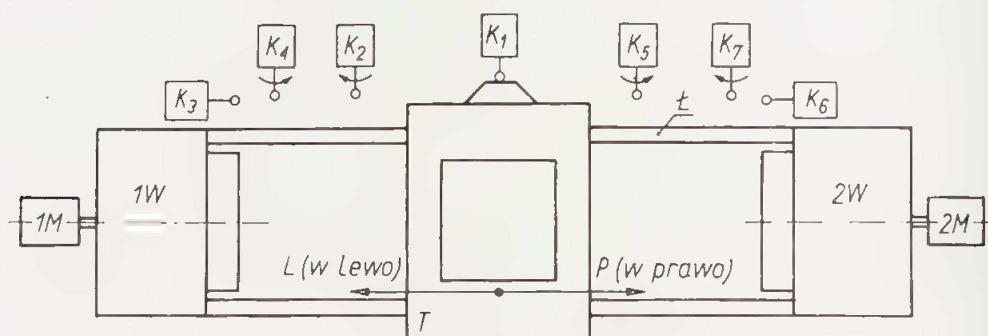
$$D = (s_1\,\bar{k}_2+s_2\,\bar{k}_1)\,(\bar{r}\bar{p}\,k_3+d)+s_3\,\bar{k}_2\,(\bar{r}\bar{p}\,k_3\,y+d)$$

Rysunek 104a przedstawia schemat obwodu przekaźnika doskoku D i przekaźnika pamięci Y. W schemacie a) połączenie przewodów *1* z *2* oraz *3* z *4* nie wprowadza do układu żadnych nowych linii łączeń, jest więc dozwolone, a jednocześnie celowe, ponieważ prowadzi do zredukowania po jednym z dwóch zestyków: $\bar{k}_2$, k_3, $\bar{r}$ i $\bar{p}$. Schemat b) przedstawia ten sam układ po przeprowadzeniu redukcji i wprowadzeniu odrębnych symboli na zestyki łączników drogowych

i przełączników selekcyjnych. W tym ostatnim schemacie przestawiono również położenie zestyku $\bar{d}$ w obwodzie wzbudzenia przekaźnika Y. Zmiana ta pozwoli na połączenie dwóch zestyków k_2 i $\bar{k}_2$ w jeden zestyk przełączający.

Rys. 104. Schemat obwodów przekaźników z przykładu 1: a) przed końcową redukcją powtarzających się zestyków; b) po przeprowadzeniu redukcji

Przykład 2. W dwuwrzecionowej wytaczarce (rys. 105) stół T z narzędziami zamocowanymi w imakach wykonuje posuwy szybkie i robocze od położenia środkowego, w którym jest naciśnięty łącznik K_1, do jednego i drugiego wrzeciennika (*1W* i *2W*). Napęd wrzeciona — od indukcyjnych silników trójfazowych; napęd posuwów — hydrauliczny. Łącznik K_2 powoduje przestawienie szybkiego



Rys. 105. Szkic rozmieszczenia elementów obrabiarki i łączników drogowych do przykładu 2

posuwu na posuw roboczy w lewo oraz za pośrednictwem stycznika M_1 załącza silnik napędu lewego wrzeciona. Posuw w lewo kończy się naciśnięciem łącznika K_3, powodującego zmianę zwrotu posuwu roboczego z lewego na prawy. W ruchu powrotnym łącznik K_4 przerywa obwód wzbudzenia stycznika M_1 i zmienia posuw roboczy na szybki, kończący się naciśnięciem łącznika K_5, będącego odpowiednikiem łącznika K_2. Posuw zostaje przełączony na roboczy i następuje uruchomienie silnika napędu prawego wrzeciona (stycznikiem M_2).

Posuw w prawo kończy się naciśnięciem łącznika K_6, rozpoczyna się posuw w lewo. Naciśnięcie łącznika K_7 powoduje wyłączenie silnika napędu prawego wrzeciona (przerwanie obwodu wzbudzenia stycznika M_2) i przestawienie posuwu roboczego na szybki. Aby uniknąć przestawiania łączników drogowych w niewłaściwych fazach obróbki łączniki K_2, K_4, K_5, K_7 zaopatrzono w napęd jednozwrotny — każdy z nich reaguje na zderzak atakujący jedynie z określonego kierunku, co na szkicu zostało zaznaczone strzałkami.

Układ sterowania omawianej obrabiarki umożliwia kierowanie jej pracą w różnorodnych cyklach automatycznych. Wyboru cyklu dokonuje się przy użyciu przełączników selekcyjnych. Przebieg każdego cyklu jest sterowany w funkcji drogi za pośrednictwem łączników drogowych, z których tylko część została podana na rys. 105. Łączniki nie zamieszczone nie biorą udziału w opracowywanym fragmencie układu sterowania. Każdy cykl pracy rozpoczyna się od ruszania stołu T z położenia środkowego szybkim posuwem w lewo. Cykl zostaje zakończony zatrzymaniem stołu również w położeniu środkowym. Zatrzymanie to może nastąpić albo po wykonaniu obróbki przy lewym wrzecienniku (*1W*); albo po wykonaniu obróbki najpierw przy lewym, a następnie przy prawym wrzecienniku.

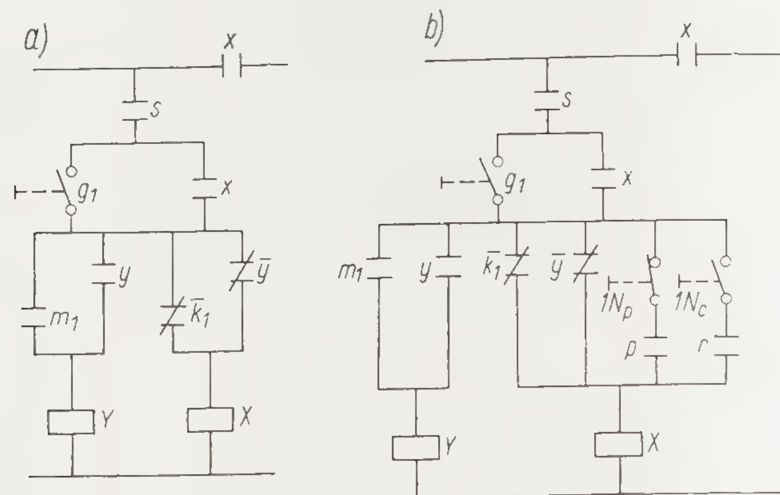
Oprócz tych dwóch cykli podstawowych, zwanych odpowiednio cyklem połówkowym i cyklem pełnym, obrabiarka może także pracować w cyklu ciągłym, w którym stół wykonuje dowolnie długo posuwy naprzemian do lewego i do prawego wrzeciennika. W takim cyklu podczas obróbki przedmiotu zamocowanego w uchwycie jednego wrzeciona obsługujący wyjmuje z uchwytu drugiego wrzeciona przedmiot obrobiony i zakłada nowy przedmiot. Gdy uchwyt lewego wrzeciona jest zamknięty, to zamknięty jest również zestyk u_1 łącznika U_1, a gdy zamknięty jest uchwyt prawego wrzeciona, zamknięty jest również zestyk u_2 łącznika U_2.

Wrzecienniki podczas pracy są smarowane mgłą olejową. Prowadnice stołu natomiast są smarowane przy użyciu pompki tłokowej działającej w ten sposób, że naciśnięcie łącznika drogowego k_1 powoduje załączenie elektrozaworu, sterującego dopływem oleju do cylindra z tłokiem, przesuwającym tłoczek pompki w kierunku ssania. W okresie między dwoma kolejnymi przejściami stołu przez położenie środkowe tłoczek pompki pod działaniem sprężyny tłoczy olej smarujący prowadnice.

Z uwagi na różnorodność cykli pracy oraz różne możliwości ich zakańczania w zależności od ustawienia przełącznika rodzaju cyklu *1N*, w układzie sterowania został przewidziany przekaźnik pośredniczący X, którego zadaniem jest doprowadzenie napięcia zasilającego do obwodów sterowania automatycznego i wyłączenie tego napięcia z chwilą zakończenia danego cyklu. Z warunku tego wynika, że przekaźnik X będzie wyłączony na skutek naciśnięcia łącznika K_1, a załączany przyciskiem G_1 przy naciśniętym łączniku K_1. Analogiczny warunek był postawiony przy projektowaniu obwodu wzbudzenia stycznika S przedstawionego na rys. 44h. Wymaga to dodania drugiego przekaźnika (odpowiadającego przekaźnikowi P na wspomnianym rysunku.) Na schemacie rys. 106 przekaźnik ten oznaczono literą Y.

Zamiast zestyku w występującego w obwodzie stycznika S (rys. 44h) obecnie będzie zastosowany zestyk $\bar{k}_1$. W obwodzie przekaźnika P zestyk $\bar{k}$ miał za zadanie załączyć przekaźnik po załączeniu stycznika S. W obwodzie przekaźnika Y do tego celu można wykorzystać dowolny zestyk zamykający się po rozpoczęciu cyklu automatycznego i otwierający się przed jego zakończeniem. Decydujemy się na zestyk m_1 (stycznik M_1 załącza napęd lewego wrzeciona). W ten sposób otrzymuje się schemat pokazany na rys. 106. Na tym schemacie przekaźnik X po rozpoczęciu cyklu będzie załączony do chwili powtórnego naciśnięcia łącznika

K_1 podczas wycofania stołu w prawo, co odpowiada pracy obrabiarki w cyklu połówkowym. Aby zapewnić pracę w cyklu pełnym, obwód wyłączający przekaźnika $X(\bar{k}_1+\bar{y})$ jest zwierany zestykiem $1N_p$ przełącznika selekcyjnego $1N$ (rys. 106b). Zestyk p jest zamknięty podczas posuwu w prawo. Gdy więc przełącznik $1N$ jest ustawiony na pracę w cyklu pełnym, zakończenie cyklu nie może nastąpić przy posuwie w prawo, lecz dopiero przy posuwie w lewo, a więc podczas powrotu stołu od wrzeciennika prawego.



Rys. 106. Schemat obwodów przekaźników pośredniczących do przykładu 2

Podobnie zestyk r (zamknięty podczas szybkiego posuwu bez względu na jego zwrot) uniemożliwia przerwanie obwodu przekaźnika X dopóki $1N$ jest w położeniu „praca ciągła" i jego zestyk $1N_c$ jest zamknięty (łącznik K_1 jest naciskany przez zderzak tylko podczas szybkiego przesuwu).

W obu schematach na rys. 106a i b w obwód wzbudzenia włączono zestyk zwierny stycznika S, załączającego silnik pompy hydraulicznej. Ma to na celu zabezpieczenie przed załączeniem cyklu automatycznego, gdy pompa nie pracuje. W ten sposób z chwilą wyłączenia silnika napędu pompy następuje wyłączenie układu sterowania i napędu całej obrabiarki. Umożliwia to potraktowanie stycznika S jednocześnie jako obwodu wyłączania alarmowego i zgrupowanie w tym obwodzie wszystkich blokad. Działanie poszczególnych blokad opisano poniżej.

1) Silnik napędu pompy hydraulicznej można załączyć jedynie wtedy, gdy stół znajduje się w położeniu środkowym (gdy $K_1 = 1$). Jeżeli po załączeniu napędu pompy przekaźnik X (automatyczny cykl pracy) przez dłuższy czas nie zostaje załączony, to na skutek przecieków w układzie hydraulicznym stół może zejść z położenia środkowego. Należy przewidzieć obwód blokady, samoczynnie wyłączający napęd pompy, gdy stół zejdzie z położenia środkowego. Obwód ten oznaczono przez A.

2) Silnik pompy nie może być załączony, jeżeli w przewodach doprowadzających sprężone powietrze do smarownicy mgłowej nie ma odpowiedniego ciśnienia, albo gdy brak jest oleju w zbiorniku pompy. Pierwszy z tych przypadków jest sygnalizowany otwarciem zestyku c_1 przekaźnika ciśnieniowego, drugi — otwarciem zestyku c_2. Jeżeli zestyk c_1 lub c_2 otworzy się podczas trwania cyklu, to w najbliższym położeniu środkowym stołu (pierwszym, licząc od danego momentu naciśnięciu łącznika K_1) powinno nastąpić otwarcie obwodu blokady i wyłączenie napędu pompy, a tym samym całej obrabiarki.

Naładowanie pompki smarowania prowadnic może nastąpić dopiero po uruchomieniu napędu pompy hydraulicznej, stan rozładowania pompki smarowania nie może więc blokować uruchomienia silnika pompy. Jeżeli jednak pompka smarowania prowadnic rozładuje się zbyt wcześnie, a więc przed powtórnym naciśnięciem łącznika K_1, to w takiej sytuacji naciśnięcie łącznika K_1 powinno spowodować zadziałanie blokady. Sygnałem rozładowania pompki jest otwarcie zestyku c_3. Odpowiedni obwód blokady oznacza się przez B.

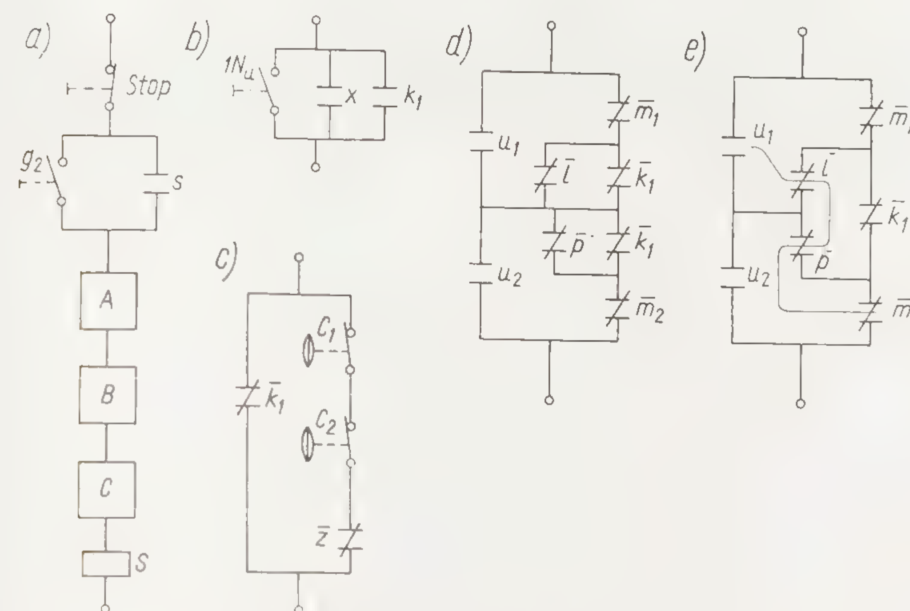
3) Obwód blokady C ma za zadanie zabezpieczyć obsługę przed wypadkiem, jaki może mieć miejsce na skutek pracy wrzeciennika przy otwartym uchwycie oraz na skutek wymiany w uchwycie przedmiotu, w momencie zbliżania się narzędzia. Obwód blokady powinien więc wyłączyć napęd obrabiarki w następujących przypadkach:

a) jeżeli nie został jeszcze zamknięty uchwyt wrzeciona, gdy stół przesuwając się w jego kierunku mija położenie środkowe;

b) gdy uchwyt jest otwarty, albo otworzy się podczas pracy silnika napędu tego wrzeciona.

Ponieważ omówione wyżej obwody blokad należą do obwodu wyłączającego stycznik S, umieszczono je szeregowo w obwodzie wzbudzenia tego stycznika, dodając jeszcze obwód załączania g_2+s oraz zestyk przycisku „stop" (rys. 107a).

Zostanie teraz opisany przebieg projektowania trzech omówionych obwodów blokad.



Rys. 107. Kolejne etapy projektowania obwodów blokad do przykładu 2

Obwód A. Z warunków założenia wynika, że obwód stycznika powinien zostać przerwany, gdy przed rozpoczęciem pracy w cyklu automatycznym (gdy $x = 0$) łącznik K_1 zostanie zwolniony ($k_1 = 0$), a przełącznik rodzaju pracy nie jest w położeniu „ustawianie" ($1N_u = 0$). Zatem $\bar{A} = \bar{k}_1\bar{x}\,\overline{1N}_u$, skąd $A = k_1+ +x+1N_u$ (rys. 107b).

Obwód B. Obwód ten powoduje wyłączenie stycznika S, gdy łącznik K_1 jest naciśnięty, oraz gdy ma miejsce przynajmniej jeden z następujących trzech przypadków: $c_1 = 0$, $c_2 = 0$, $c_3 = 0$, a więc $\bar{B} = k_1(\bar{c}_1+\bar{c}_2+\bar{c}_3)$, skąd $B = \bar{k}_1+ +c_1c_2c_3$. Obwód taki nie pozwoliłby jednak nigdy na uruchomienie silnika, po-

nieważ przed uruchomieniem pompy $c_3 = 0$. Trzeba więc zamiast zestyku c_3 dać zestyk z przekaźnika pamięci Z. Obwód tego przekaźnika będzie omówiony po opracowaniu całego układu blokad.

Obwód C. Układ blokady związanej z otwarciem uchwytu rozbijamy na dwa równoległe układy (dla lewego i prawego wrzeciennika).

Warunek blokady określony w punkcie 3a mówi, że obwód stycznika S powinien zostać przerwany ($S = 0$), gdy przy otwartym uchwycie lewego wrzeciennika ($u_1 = 0$) stół dojdzie do położenia środkowego ($k_1 = 1$) podczas posuwu w lewo ($l = 1$), a więc $S = 0$, gdy $\bar{u}_1 k_1 l = 1$. Biorąc pod uwagę analogiczne wymagania związane z otwarciem uchwytu prawego otrzymuje się $S = 0$, gdy $\bar{u}_2 k_1 p = 1$.

Z warunku blokady podanego w punkcie 3b wynika z kolei, że obwód stycznika S powinien zostać przerwany, gdy albo $\bar{u}_1 m_1 = 1$ (lewy uchwyt otwarty i napęd lewego wrzeciona załączony), albo też $\bar{u}_2 m_2 = 1$, a więc $S = 0$, gdy $\bar{u}_1 m_1 + \bar{u}_2 m_2 = 1$.

Uwzględniając te wszystkie warunki blokady związanej z uchwytami otrzymuje się

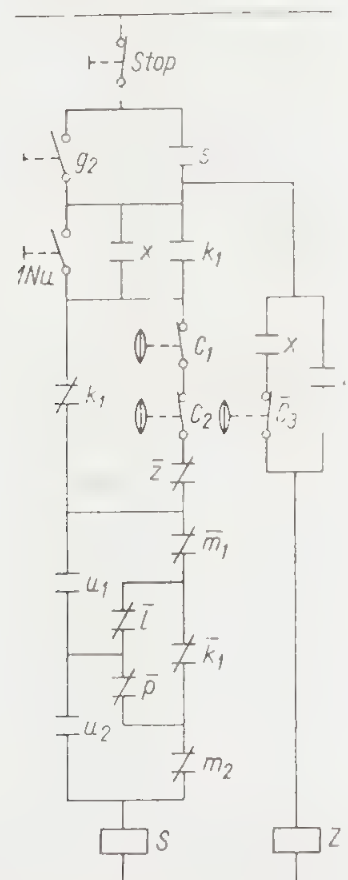
$$\bar{S} = \bar{u}_1 k_1 l + \bar{u}_2 k_1 p + \bar{u}_1 m_1 + \bar{u}_2 m_2 = \bar{u}_1 (m_1 + k_1 l) + \bar{u}_2 (m_2 + k_1 p)$$

a więc

$$S = [u_1 + \bar{m}_1 (\bar{k}_1 + \bar{l})] [u_2 + \bar{m}_2 (\bar{k}_1 + \bar{p})]$$

Schemat odpowiedniego obwodu przedstawiono na rys. 107d.

Intuicja podsuwa myśl, że można by zaoszczędzić jeden zestyk $\bar{k}_1$ zmieniając nieco strukturę obwodu (rys. 107e). Porównując linie przerw w obu obwodach



Rys. 108. Pełny obwód blokady, włączony w obwód wzbudzenia stycznika S

(rys. 107d, e) można stwierdzić, że na rys. 107e występuje linia przerw u_1-$\bar{l}$-$\bar{p}$-$\bar{m}_2$ (zaznaczona na schemacie) i analogiczna (nie zaznaczona) u_2-$\bar{p}$-$\bar{l}$-$\bar{m}_1$, nie występujące na rys. 107d. Linie te nie wprowadzają jednak żadnych zmian do funkcji obwodu pozostając stale zamknięte, ponieważ zawsze $\bar{p} + \bar{l} = 1$ (nigdy nie jest załączony jednocześnie posuw w prawo i posuw w lewo). Wynika stąd pełna równoważność obu obwodów. Przyjmujemy zatem uproszczoną postać obwodu (rys. 107e).

Obwód przekaźnika pośredniczącego Z jest obwodem pamięci, który powinien rozróżniać, czy otwarcie zestyku c_3 nastąpiło przed, czy po uruchomieniu cyklu automatycznego, musi to być więc obwód wielotaktowy z podtrzymaniem zasilania przez własny zestyk z. Przekaźnik Z powinien zostać załączony, gdy podczas pracy w cyklu automatycznym ($X = 1$) rozładuje się pompka smarowania prowadnic ($c_3 = 0$). Jego obwód załączający będzie więc odpowiadał wyrażeniu $x\bar{c}_3$.

Na rysunku 108 przedstawiono schemat obwodów wzbudzenia stycznika S i przekaźnika Z, spełniający wszystkie omówione wymagania.

Obwody wielotaktowe. Analiza

1. Wtórne sygnały wejściowe

Przy omawianiu w rozdziale pierwszym obwodów wielotaktowych zwrócono uwagę na ich zasadniczą cechę funkcjonalną — zapamiętywanie poprzednich stanów wejść i wyjść. Wyjaśniono również, że zapamiętywanie to osiąga się w obwodach wielotaktowych przez skierowanie ich sygnałów wyjściowych z powrotem na wejście.

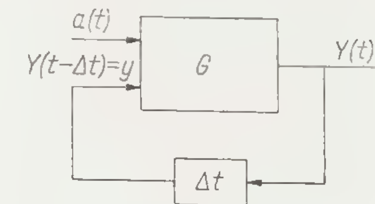
Wróćmy do schematu rys. 9b, przedstawiającego elementarnie prosty przykład układu, złożonego z dwóch obwodów wielotaktowych. Jeżeli stycznik *2S* nie jest załączony, to naciśnięcie przycisku „w prawo" powoduje zamknięcie obwodu wzbudzenia stycznika *1S*, w wyniku czego zamyka się jego zestyk *1s* podtrzymujący zasilanie wzbudzenia również po zwolnieniu przycisku „w prawo". Ta zmiana stanu zestyku *1S* jest właśnie sygnałem wyjściowym skierowanym z powrotem na wejście (do obwodu wzbudzenia). Do wzbudzenia stycznika *1S* wystarcza krótkotrwałe naciśnięcie przycisku „w prawo". Jeżeli jednak ten czas naciśnięcia będzie zbyt krótki (rzędu ułamka milisekundy), to stycznik *1S* nie zdąży przyciągnąć zwory, nie zamknie się zestyk *1s* i takie naciśnięcie przycisku nie wywoła zamierzonego efektu. Podobnie przy zbyt krótkotrwałym przerwaniu obwodu (zbyt krótkotrwałym naciśnięciu przycisku „stop") zwora stycznika nie zdąży opaść i po zwolnieniu przycisku obwód *1S* pozostanie zamknięty.

Takie zachowanie się obwodu wielotaktowego wynika z faktu, że między zamknięciem obwodu wzbudzenia przekaźnika a zamknięciem jego zestyków zwiernych upływa pewien, wprawdzie bardzo krótki, nie mniej skończony okres czasu Δt. Podobna zwłoka czasowa występuje między momentem przerwania obwodu wzbudzenia przekaźnika a otwarciem jego zestyków zwiernych. Charakterystyczne dla obwodów wielotaktowych jest to, że sygnały, przesyłane od wyjścia na wejście obwodu, są przekazywane przez zestyki przekaźnika (w omawianym przykładzie — przez zestyk zwierny *1s*), pojawiają się więc na wejściu z pewnym opóźnieniem w stosunku do tych sygnałów wejściowych, które spowodowały zmianę stanu wyjść. Te sygnały, przekazywane z wyjścia na wejście obwodu, będziemy w dalszym ciągu nazywali wejściowymi sygnałami wtórnymi, albo krótko sygnałami wtórnymi.

Opóźnienie czasowe Δt nie odgrywa żadnej roli w obwodach jednotaktowych, w których powoduje ono jedynie, że sygnał wyjściowy pojawia się z minimalnym, nie mającym praktycznego znaczenia, opóźnieniem Δt względem sygnału wejściowego.

Inaczej jednak przedstawia się sprawa w obwodach wielotaktowych, w których opóźnienie Δt jest zjawiskiem istotnym. Na rys. 109 przestawiono schemat blokowy obwodu wielotaktowego, w którym stan wejść i wyjść będzie rozpatrywany w funkcji czasu.

Dzieląc drogę przebiegu sygnałów, podobnie jak w układach regulacji, na tor główny (a-Y) i tor sprzężenia zwrotnego (Y - y), można przyjąć, że rozważane opóźnienie czasowe Δt występuje jedynie w torze sprzężenia zwrotnego (tor główny, bez sprzężenia zwrotnego, stanowi obwód jednotaktowy). Założenie takie chociaż niezupełnie ścisłe pozwala na prostsze ujęcie omawianych zjawisk, nie zmieniając przy tym ich istoty. W przypadku obwodu przekaźnikowego oznacza to, że całą zwłokę czasową między zamknięciem obwodu wzbudzenia przekaźnika ($a = 1$), a zamknięciem jego zestyków zwiernych ($y = 1$) (albo między przerwaniem obwodu wzbudzenia, a otwarciem zestyków zwiernych) przypisuje się



Rys. 109. Schemat przebiegu sygnałów w obwodach wielotaktowych

wyłącznie mechanicznej stałej czasowej przekaźnika, pomija się natomiast czas narastania prądu w obwodzie wzbudzenia. W oparciu o takie założenie można uważać, że stan wzbudzenia przekaźnika Y zmienia się równocześnie ze stanem wejść a. Założenie takie, utożsamiając stan obwodu wzbudzenia przekaźnika (zamknięty — otwarty) ze stanem wzbudzenia przekaźnika, pozwala jednocześnie stosować krótsze określenie „stan wzbudzenia (przekaźnika)", czy nawet tylko „stan przekaźnika" tam, gdzie ściśle biorąc trzeba by mówić o stanie obwodu wzbudzenia.

Tak więc jeżeli w pewnej chwili t zmieni się stan wejść $a\,(t)$ to równocześnie zmieni się stan przekaźnika $Y\,(t)$. Jednak na wejściu układu oprócz zewnętrznych sygnałów wejściowych są doprowadzane również sygnały wtórne, które w wyniku opóźnienia w torze Y - y odpowiadają w chwili t stanowi wejść przed zmianą $a\,(t)$, a więc stanowi $Y\,(t-\Delta t)$. Wynika stąd, że $Y\,(t) = G\,[a\,(t),\, Y\,(t-\Delta t)]$, gdzie G jest symbolem transmitancji (funkcji przejścia) rozpatrywanego obwodu.

Wszystkie zmienne w podanej wyżej zależności funkcyjnej można odnieść do tego samego czasu t, wprowadzając oznaczenie $Y\,(t-\Delta t) = y\,(t)$. Wtedy $Y\,(t) = G\,[a\,(t), y\,(t)]$.

W obwodach przekaźnikowych sygnał $y\,(t) = Y\,(t-\Delta t)$ jest przekazywany przez zestyki przekaźnika Y, stąd też pochodzi oznaczanie przekaźnika czy jego cewki dużą literą, zestyków zaś przekaźnika taką samą literą lecz małą. Oznaczanie cewki przekaźnika i jego zestyków zwiernych literami bez znaku negacji, a zestyków rozwiernych literami ze znakiem negacji wynika z przyjętej konwencji, według której stan zamknięcia obwodu i zestyku oznacza się przez *1*, stan zaś otwarcia — przez 0. Jeśli obwód wzbudzenia przekaźnika jest zamknięty ($X = 1$), to po przyciągnięciu zwory jego zestyki zwierne są również zamknięte ($x = 1$), zestyki zaś rozwierne — otwarte ($\bar{x} = 0$).

Należy jeszcze zwrócić uwagę, że oznaczając w ten sposób zestyki trzeba by zamiast „sygnał x", „sygnał $\bar{x}$" mówić: „sygnał przekazywany przez zestyk, $x\,(x)$". Jednakże, mimo że ta sama litera (x) oznacza na schemacie zestyk, przyjęto stosowanie formy prostszej „sygnał $x\,(x)$", tym bardziej, że nie prowadzi ona nigdy do dwuznaczności opisu.

Zmiana stanu wejść może mieć charakter bierny, to znaczy nie powodować żadnej zmiany stanu wyjść (zmiany stanu wzbudzenia przekaźników). Tak na przykład nie wprowadza zmiany wzbudzenie styczników *1S* i *2S* (rys. 9b) naciśnięcie przycisku „w prawo" lub „w lewo", gdy obwód jednego z tych styczników jest już zamknięty. Jeżeli jednak zmiana stanu wejść powoduje zmianę stanu wyjść, a więc zmianę stanu wzbudzenia choćby jednego przekaźnika (stycznika)

układu, to w okresie czasu Δt stan wzbudzenia tego, lub tych przekaźników będzie inny, niż stan jego zestyków zwiernych. Sytuacja taka odpowiada stanowi przejściowemu przekaźnika. W stanie przejściowym danego przekaźnika X występuje więc zależność $X \neq x$, a więc $Xx = 0$, w stanie zaś ustalonym $X = x$, $Xx = 1$.

Niech będzie dany układ, złożony z obwodów wzbudzenia trzech przekaźników W, X, Y, w którym od pewnego czasu obwody wzbudzenia przekaźników W i Y są zamknięte, obwód zaś wzbudzenia przekaźnika X jest otwarty. Posługując się przyjętą notacją można to zapisać $WXY \equiv 101$. W taki sam sposób zostaje zanotowany stan zestyków zwiernych tych przekaźników $wxy \equiv 101$. Jeżeli w pewnym momencie zostanie przerwany obwód wzbudzenia przekaźnika W i jednocześnie zamknięty obwód wzbudzenia przekaźnika X przy pozostawionym bez zmiany obwodzie wzbudzenia przekaźnika Y, to nowy stan wzbudzenia przekaźników będzie odpowiadał zapisowi $WXY \equiv 011$. Natomiast stan zestyków nie od razu ulegnie zmianie i przez okres przejściowy będzie odpowiadał jeszcze poprzedniemu zapisowi 101.

Operując symbolami literowymi przekaźników i ich zestyków oraz symbolami cyfrowymi ich stanów, można stwierdzić:

1) w stanie ustalonym wszystkich przekaźników układu zapis stanu ich wzbudzenia jest identyczny z zapisem stanu zestyków zwiernych odpowiednich przekaźników;

2) w stanie przejściowym zapisy stanów wzbudzenia przekaźników i stanów ich zestyków różnią się dla tych przekaźników, których stan ulega właśnie zmianie, a więc różnią się przynajmniej w jednej pozycji;

3) w nowym stanie ustalonym zapis stanu zestyków zwiernych będzie taki, jaki w okresie przejściowym jest stan wzbudzenia odpowiednich przekaźników.

W rozdziale pierwszym podano, że okres czasu między dwiema kolejnymi zmianami stanu wejść lub wyjść nazywa się taktem pracy układu. Omówiony wyżej stan przejściowy przekaźników rozpoczyna się od zmiany wartości pewnych sygnałów wejściowych, a więc od zmiany stanu wejść, a kończy się zmianą wartości sygnałów wtórnych (zmianą stanu wyjść), stanowi więc oddzielny takt pracy układu, podobnie stan ustalony przekaźników jest odrębnym taktem pracy. Stanowi przejściowemu i stanowi ustalonemu przekaźników odpowiadają więc przejściowy i ustalony takt pracy układu.

2. Analiza układu przy wykorzystaniu siatki stanów wzbudzenia

Na przebieg przetwarzania sygnałów przez układ sterowania składa się odpowiednia sekwencja taktów ustalonych i taktów przejściowych. Przebieg ten najwygodniej jest śledzić w oparciu o odwzorowanie obwodów układu na odpowiednio uporządkowanej siatce *Karnaugha*, zwanej siatką stanów wzbudzenia, lub siatką stanów. Odwzorowanie takie przeprowadza się w oparciu o następujące ustalenia.

1) Siatka stanów powinna obejmować wszystkie sygnały wejściowe i wtórne, wchodzące w wyrażenie strukturalne danego obwodu.

2) W pola siatki stanów wpisuje się stany wzbudzenia tych przekaźników (styczników), których sygnały wyjściowe są wejściowymi sygnałami wtórnymi analizowanego obwodu. Wynika stąd, że siatka stanów obejmuje z reguły zespół przekaźników pośredniczących wchodzących w skład elementarnego układu pełniącego określoną funkcję sterowania (np. przekaźników $1P$, $2P$ i styczniki $1S$, $2S$ dla układu na rys. 48).

3) Sygnałom wejściowym zostają podporządkowane kolumny siatki, natomiast sygnałom wtórnym — jej wiersze.

4) W pola siatki wpisuje się stany wzbudzenia przekaźników pośredniczących w taki sposób, jak w siatkach na rys. 90a i 91c. Kolejność poszczególnych przekaźników w zapisie stanów wzbudzenia musi być taka sama, jak przyjęta przy opisie wierszy siatki.

Dzięki przyjęciu powyższych ustaleń wystarczy porównać zapis wewnątrz dowolnego pola z opisaniem wiersza, w którym ono leży, aby stwierdzić czy jest to takt przejściowy, czy też ustalony: jeśli zapisy są zgodne — układ jest w stanie (takcie) ustalonym; jeśli zapisy pola i wiersza są różne — układ jest w stanie (takcie) przejściowym.

Ponieważ takt przejściowy trwa bardzo krótko, przyjmuje się, że w tym czasie nie zdąży zajść żadna zmiana stanu sygnałów wejściowych, co oznacza, że wszystkie takty przejściowe zachodzące między dwoma kolejnymi taktami ustalonymi przebiegają wewnątrz jednej kolumny siatki (zmiana kolumny może nastąpić jedynie w wyniku zmiany stanu sygnałów wejściowych). Jeśli więc w pewnym polu znajduje się zapis stanu wzbudzenia niezgodny z oznaczeniem wiersza — oznacza to, że dany takt jest taktem przejściowym, dążącym do pola, leżącego w tej samej kolumnie i w wierszu oznaczonym jak zapis w danym polu. Innymi słowy zapis stanu wzbudzenia w pewnym polu można traktować jako adres wiersza, do którego bez zmiany kolumny prowadzi określony stan sygnałów wejściowych w przypadku, gdy omawiany takt jest taktem przejściowym. Nie trzeba chyba wyjaśniać, że każde pole siatki różni się od innych pól wartością przynajmniej jednego sygnału wejściowego lub wtórnego, a więc każde pole reprezentuje inny takt pracy układu.

Przyjęto powyżej, że w takcie przejściowym nie zdąży zajść żadna zmiana stanu wejść. Wynika z tego, że podane wyżej zasady odwzorowania nie mogą się odnosić do przekaźników czasowych, których stan przejściowy (od wzbudzenia do przestawienia zestyków) trwa długo. Obwody z przekaźnikami czasowymi zostaną omówione oddzielnie.

W tym rozdziale, w celu łatwiejszego rozróżniania rodzaju sygnałów, przyjęto zasadę oznaczania sygnałów wejściowych początkowymi literami alfabetu (a, b, c, ...), sygnałów wtórnych (w związku z czym i przekaźników pośredniczących) — końcowymi literami alfabetu (s, t, w, y). Wreszcie dla wyjść (w przypadku wyjść przekaźnikowych) zarezerwowano dużą literę Z z kolejnymi wskaźnikami cyfrowymi (Z_1, Z_2, Z_3, ...).

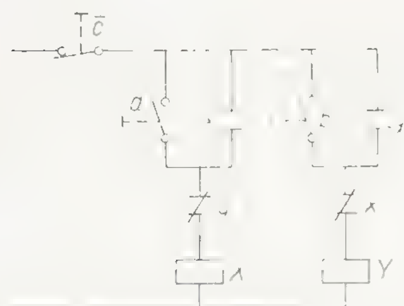
Można teraz przejść do omówienia zasad analizy przy zastosowaniu siatek stanów na podstawie przykładów.

Przykład 1. Przeprowadzić analizę układu sterowania silnikiem nawrotnym (rys. 9).

Oznaczenia literowe elementów układu należy wprowadzić zgodnie z poprzednio podaną umową. Schemat z nowymi oznaczeniami przedstawiono na rys. 110. Ze schematu można odczytać wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia styczników: $X = \bar{c}\bar{y}\,(a+x)$; $Y = \bar{c}\bar{x}\,(b+y)$, według których w pola siatki *Karnaugha* (rys. 111) wpisuje się stany wzbudzenia X i Y.

Porównując zapisy w polach z opisem odpowiednich wierszy można odnaleźć takty ustalone, których jest trzynaście. Dla większej wyrazistości zapis stanów wzbudzenia w tych polach obwiedziono kółkiem. Dodatkowo na rys. 111 wpisano w prawym dolnym rogu każdego pola jego symbol dziesiętny.

Analizę układu rozpoczyna się zwykle od pola odpowiadającego ustalonemu stanowi w jakim znajduje się układ po załączeniu napięcia zasilającego, a przed naciśnięciem jakiegokolwiek przycisku. Przed załączeniem napięcia oba sygnały wtórne x i y miały oczywiście wartość 0, w chwili więc załączenia napięcia stan układu jest reprezentowany przez pole leżące w wierszu 00 i kolumnie 000 (ża-



Rys. 110. Schemat obwodu wielotaktowego analizowanego w przykładzie 1

xy \ abc	000	001	011	010	110	111	101	100
00	(00) 0	(00) 4	(00) 12	01 8	11 24	(00) 28	(00) 20	10 16
01	(01) 1	00 5	00 13	(01) 9	(01) 25	00 29	00 21	(01) 17
11	00 3	00 7	00 15	00 11	00 27	00 31	00 23	00 19
10	(10) 2	00 6	00 14	(10) 10	(10) 26	00 30	00 22	(10) 18

XY

Rys. 111. Siatka stanów wzbudzenia przekaźników X i Y z rys. 110

den przycisk nie jest naciśnięty), a zatem przez pole **0**. W polu tym wstępuje takt ustalony, co oznacza, że samo załączenie napięcia zasilającego nie powoduje wzbudzenia żadnego z przekaźników.

Zmienić takt ustalony na inny można jedynie przez zmianę stanu sygnałów wejściowych. Naciśnięcie przycisku A zmienia stan wejść z 000 na 100, przerzucając stan układu z pola **0** do pola **16** (zmiana kolumny bez zmiany wiersza). Pole **16** odpowiada taktowi przejściowemu do nowego taktu ustalonego leżącego w tej samej kolumnie lecz w wierszu 10, taki bowiem adres wiersza odnajdujemy w polu **16**. Adres prowadzi do pola **18**, w którym zapisany jest nowy takt ustalony *10* (stycznik X załączony).

Zwolnienie przycisku A przenosi układ do kolumny 000, a więc do pola **2**, w którym znowu znajduje się takt ustalony. Zwolnienie przycisku (zmiana stanu wejść ze 100 na 000) nie wprowadza więc żadnych zmian do stanu sygnałów wtórnych, a ponieważ rozpatrywany układ jest układem z wyjściami stycznikowymi, nie zmienia również stanu wyjść. Można łatwo sprawdzić, że po załączeniu stycznika X układ przestaje reagować na przyciski A i B. Reaguje jedynie na naciśnięcie przycisku C (sygnał „stop"). We wszystkich bowiem polach wiersza 10 leżących w kolumnach, dla których $c = 1$, znajdują się stany przejściowe z adresem 00 kierującym do wiersza 00 i do taktu ustalonego 00 (wyłączenie stycznika X i pozostawienie w stanie nie załączonym stycznika Y).

W podobny sposób można prześledzić na siatce stanów zmiany stanów wzbudzenia przy naciśnięciu przycisku B.

Należy jeszcze zwrócić uwagę, że siatka stanów pozwala od razu stwierdzić, że mamy do czynienia z obwodami wielotaktowymi, w których stan wzbudzenia nie jest jednoznacznie określoną funkcją aktualnego stanu wejść. Gdyby siatka stanów (rys. 111) odwzorowywała układ z obwodami jednotaktowymi, to we wszystkich polach jednej kolumny, reprezentującej jak wiadomo określony stan wejść, musiałby występować ten sam stan wzbudzeń. Tymczasem w siatce tej w każdej z kolumn $\bar{c}$ znajdują się pola z różnymi stanami wzbudzeń.

Spróbujmy teraz na podstawie siatki stanów znaleźć odpowiedź na pytanie co się stanie, jeśli w sytuacji wyjściowej zostaną naciśnięte jednocześnie oba przyciski uruchamiające napęd (przyciski A i B). Sytuacja taka będzie odpowiadała zmianie stanu sygnałów wejściowych z 000 na 110. Przede wszystkim trzeba

zwrócić uwagę, że idealnie jednoczesne wprowadzenie zmiany wartości dwóch (czy więcej) sygnałów jest w rzeczywistości niemożliwe, ponieważ zawsze jeden z sygnałów zmieni swoją wartość nieco wcześniej. Zgodnie więc z praktycznymi rezultatami takiej zmiany pod określeniem „jednoczesne wprowadzenie zmiany" rozumie się tak szybko występującą zmianę wartości jednego sygnału po drugim, że układ nie zdąży zareagować na zmianę pojedynczego sygnału. W przypadku układu zmontowanego z przekaźników elektromagnetycznych jako jednoczesną traktuje się zmianę różniącą się w czasie o mniej niż czas zadziałania przekaźnika, a więc mniej niż kilka do kilkunastu milisekund (zależnie od typu użytych przekaźników).

W takim ujęciu może oczywiście występować „jednoczesna" zmiana wartości dwóch sygnałów, jednakże nie ma nigdy pewności, czy taka zmiana, jeśli była zamierzona jako jednoczesna, zostanie rzeczywiście zrealizowana. Odstęp czasowy między zamknięciem zestyku przycisku „w prawo" i zamknięciem zestyku przycisku „w lewo" może być przecież większy niż owe dopuszczalne kilka czy kilkanaście milisekund, a wtedy zamiast przejść z kolumny $a b c$ do kolumny $ab\bar{c}$ przechodzi się albo do kolumny $a\bar{b}c$ (uruchomienie napędu w prawo), albo do $\bar{a}bc$ (uruchomienie napędu w lewo), po których to przejściach układ przestaje reagować na sygnały a i b. Z tego powodu przy projektowaniu układu sterowania przyjmuje się zasadę nie wprowadzania do układu równoczesnej zmiany stanu dwóch lub więcej sygnałów wejściowych. Wynika stąd, że dwa kolejne takty ustalone powinny zawsze znajdować się w kolumnach sąsiednich.

Pamiętając o powyższej zasadzie spróbujmy jednak na siatce stanów prześledzić skutki takiej niedopuszczalnej zmiany stanu wejść. Równoczesne naciśnięcie przycisków A i B przenosi stan wejść z kolumny 000 do kolumny 110, a więc stan wzbudzenia z pola **0** do pola **24** (rys. 111). W polu tym znajduje się adres wiersza 11. Nie jest to wiersz sąsiedni względem poprzedniego wiersza 00, co oznacza, że tego rodzaju zmiana stanu wejść spowodowała również podwójną zmianę stanu wzbudzenia: stycznika X i stycznika Y. Ponieważ czasy zadziałania tych styczników na pewno nie są idealnie jednakowe, należy wziąć pod uwagę następujące możliwości:

— Zestyk zwierny stycznika X zamknie się wyraźnie wcześniej, niż zestyk zwierny stycznika Y, a wtedy stan wzbudzenia będzie odpowiadał zapisowi w polu **26**, w którym odnajdujemy takt ustalony *10*. W rezultacie zostanie załączony jedynie stycznik X.

— Zestyk zwierny stycznika Y zamknie się wyraźnie wcześniej niż stycznika X, w rezultacie stan układu przejdzie do pola **25** odpowiadającego taktowi ustalonemu 01. Zostanie załączony stycznik Y.

— Zestyk x i zestyk y zamkną się równocześnie lub prawie równocześnie, a wtedy z pola **24** stan układu przejdzie do pola **27**, w którym odnajduje się ponownie adres pola **24**. W takiej sytuacji oba styczniki zaczną pracować jak dzwonek elektryczny, będą na przemian wzbudzane i odwzbudzane. Istnieje również możliwość, że podczas takiego załączania i wyłączania działanie jednego ze styczników opóźni się i przebieg zakończony będzie stanem ustalonym w polu **25** lub **26**.

Ilekroć zmiana stanu wejść powoduje zmianę stanu wzbudzenia więcej niż jednego przekaźnika (stycznika), nie można przewidzieć, który z nich wcześniej przestawi swe zestyki. Tego rodzaju zmiana stanu wzbudzenia przekaźników pośredniczących nosi nazwę wyścigu. W niektórych układach wyścig kończy się zawsze tym samym stanem ustalonym, nie przeszkadza więc w poprawnej pracy układu. Tego rodzaju wyścig nazywa się wyścigiem nie krytycznym. Jeżeli jednak jak w omawianym przykładzie, nie można przewidzieć zakończenia wyścigu,

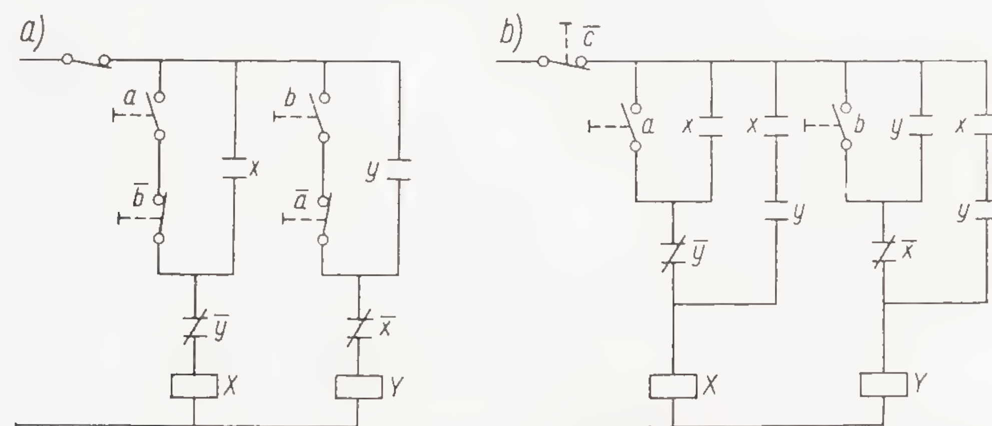
to nazywa się go wyścigiem krytycznym. Nie trzeba chyba uzasadniać, że występowanie wyścigu krytycznego podczas eksploatacji układu sterowania jest zjawiskiem bezwzględnie niedopuszczalnym.

Mimo to schemat przedstawiony na rys. 110 jest schematem rozwiązanym poprawnie, wolno bowiem nie brać pod uwagę przypadków tak niewłaściwej obsługi maszyn, jak zabawianie się w równoczesne naciskanie dwóch przycisków, w dodatku przekazujących do układu przeciwne polecenia.

Gdyby natomiast jeden ze sygnałów a i b był przekazywany przez element sterowania, a drugi — przez element obsługi, to wtedy trzeba liczyć się z możliwością równoczesnego pojawienia się sygnałów a i b i zabezpieczyć układ przed możliwością występowania wyścigu krytycznego. Zabezpieczenie to będzie polegało na takiej zmianie struktury układu, by zmiana stanu sygnałów wejściowych z 000 na 110 miała charakter bierny. Taka sytuacja jest już w wierszach *01* i *10* (rys. 111), w których stan wzbudzenia nie zmienia się przy przejściu z kolumny 000 do 110, a więc z pola **1** do pola **25**, lub z pola **2** do pola **26**. Aby zatem wyeliminować wyścig krytyczny w kolumnie 110 wystarczy w polu **24** powtórzyć stan wzbudzenia z pola **0**, wpisując w nim stan 00 zamiast istniejącego stanu 11. Zmiana ta spowoduje następującą zmianę wyrażeń strukturalnych X i Y

$$X = \bar{c}\bar{y}\,(a\bar{b}+x); \qquad Y = \bar{c}\bar{x}\,(\bar{a}b+y)$$

Schemat tak zmienionego układu podano na rys. 112a. Ze schematu widać wyraźnie, że załączenie stycznika X lub Y przez naciśnięcie odpowiedniego przycisku może nastąpić jedynie wtedy, gdy drugi przycisk nie jest naciśnięty.



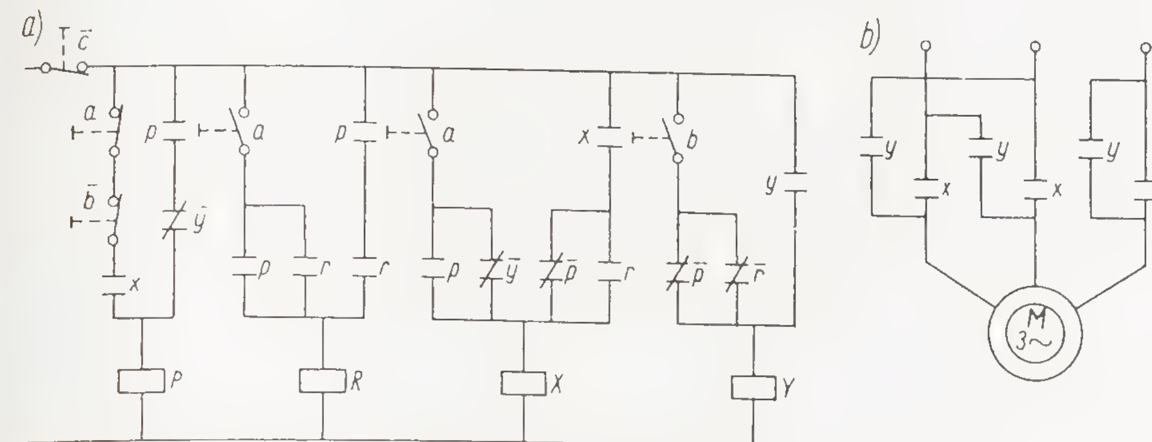
Rys. 112. Dwa warianty układu z rys. 110: a) układ zabezpieczony przed skutkami równoczesnego naciśnięcia obu przycisków A i B; b) układ równoważny z nadmierną liczbą zestyków

We wszystkich polach trzeciego wiersza (rys. 111) znajdują się stany przejściowe 00. Nietrudno również sprawdzić, że (odrzucając przypadek równoczesnego naciśnięcia przycisków A i B) żadna zmiana stanu ustalonego nie prowadzi przez żadne z pól wiersza trzeciego. Wynika stąd, że pola tego wiersza pozostają niedostępne, a zatem stan wzbudzeń w tych polach z punktu widzenia funkcji układu jest całkowicie obojętny. Gdyby na przykład w kolumnach, w których $c = 0$, wpisać w pola trzeciego wiersza stan *11*, to otrzymałoby się tylko inne niż początkowo wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia styczników X i Y, a mianowicie

$$X = \bar{c}[\bar{y}\,(a+x)+xy]; \qquad Y = \bar{c}\,[\bar{x}\,(b+y)+xy]$$

Układ odpowiadający tym wyrażeniom, podano na rys. 112b.

Nietrudno sprawdzić, że zmiana ta nie wpłynie na poprawę pracy układu. Wprowadza ona jednak do układu dodatkowo cztery niepotrzebne zestyki, jest więc nie tylko zbyteczna lecz nawet szkodliwa. Bywają jednak przypadki, kiedy możliwość wpisania odmiennego stanu wzbudzenia do pól niedostępnych pozwala na uproszczenie struktury układu. Taki układ będzie rozpatrzony w poniższym przykładzie.



Rys. 113. Schemat układu analizowanego w przykładzie 2: a) obwody sterowania; b) obwody mocy

P r z y k ł a d 2. Przeprowadzić analizę układu sterowania, którego schemat podano na rys. 113.

Schemat b) obwodu mocy wyjaśnia, że elementy X i Y występujące w schemacie a) są stycznikami, służącymi do załączania i wyłączania silnika w obu zwrotach wirowania (przyjęto, że X załącza obroty w prawo, Y w lewo). Wynika stąd warunek, że oba styczniki nigdy nie mogą być załączone jednocześnie ($XY \neq 1$). P i R są przekaźnikami pośredniczącymi.

Na podstawie schematu można ustalić wzory strukturalne obwodów wzbudzenia przekaźników i styczników

$$P = \bar{c}\,(\bar{a}\bar{b}x+p\bar{y}); \qquad R = \bar{c}\,[a\,(p+r)+pr];$$

$$X = \bar{c}\,[a\,(p+\bar{y})+(\bar{p}+r)x]; \qquad Y = \bar{c}\,[b\,(\bar{p}+\bar{r})+y]$$

Zarówno bezpośrednio ze schematu jak i ze wzorów strukturalnych widać wyraźnie, że przycisk C spełnia tylko jedno zadanie; jego naciśnięcie w każdej sytuacji przerywa obwód zasilania wszystkich przekaźników i styczników. Układając siatkę stanów można pominąć sygnał c, ponieważ znany jest dokładnie każdorazowy skutek tego sygnału. Pominięcie jego pozwoli na zastosowanie siatki z czterema kolumnami zamiast ośmiu.

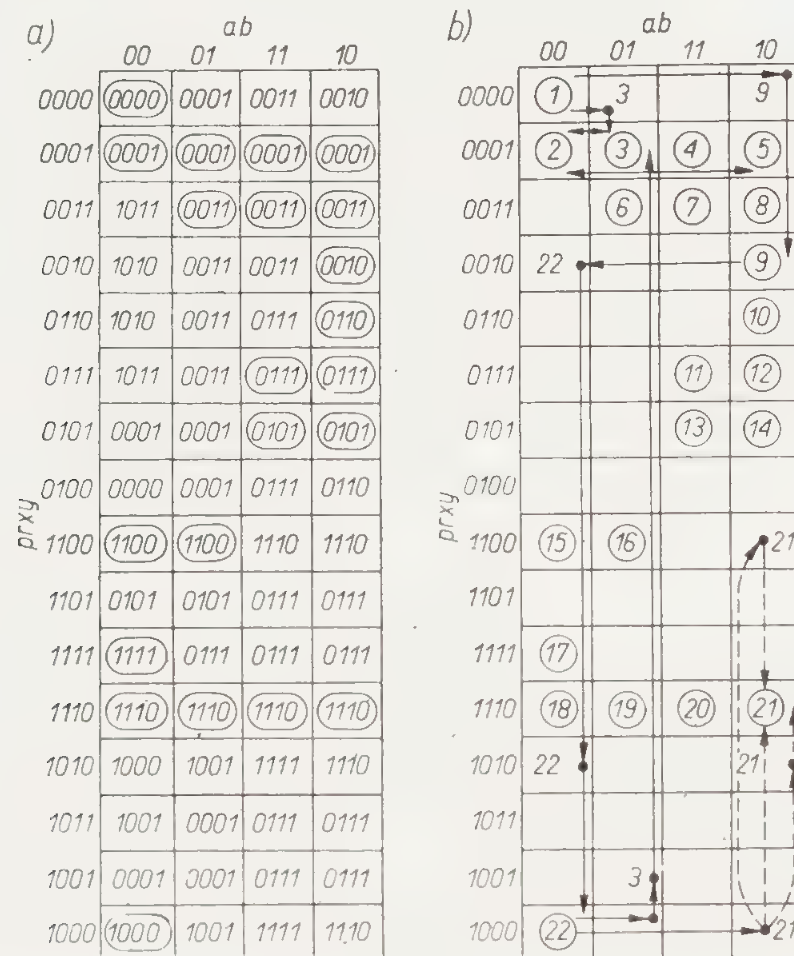
W wypełnionej siatce stanów (rys. 114a) znajdują się 22 takty ustalone. Z uwagi na znaczną liczbę taktów ustalonych oraz wierszy w siatce stanów, narysowano obok tak zwaną siatkę przejść (rys. 114b).

Siatka przejść tym różni się od siatki stanów, że w odpowiednie pola siatki *Karnaugha* zostają wpisane w kółkach numery, które przydzielono poszczególnym taktom ustalonym. W omawianym przykładzie stany te ponumerowano od (1) do (22) w takiej kolejności, w jakiej występują w siatce stanów.

Przed uruchomieniem napędu układ znajduje się w takcie ustalonym (1). Takt ten można zmienić jedynie albo przez naciśnięcie przycisku A albo przy-

cisku B. Trzeciej możliwości — równoczesnego naciśnięcia A i B nie bierze się pod uwagę z przyczyn wyjaśnionych w poprzednim przykładzie.

Po naciśnięciu przycisku A przechodzimy z pola ① do pola z taktem przejściowym *9* (numer *9* nie obwiedziony kółkiem oznacza, że dane pola siatki odwzorowuje takt przejściowy, prowadzący do taktu ustalonego ⑨, w którym $X = 1$; $Y = 0$, a więc silnik M zostaje załączony na obroty w prawo). Ponieważ po raz pierwszy omawiana jest siatka przejść, przebieg zmian stanów zaznaczono na rys. 114b dodatkowo strzałkami.



Rys. 114. Siatka stanów i przejść układu z rys. 113: a) siatka stanów; b) siatka przejść

W przypadku naciśnięcia przycisku B układ przechodzi z taktu ustalonego ① przez takt przejściowy *3* do taktu ustalonego ③ — silnik zostaje uruchomiony w lewo.

Z taktu ustalonego ⑨ leżącego w kolumnie czwartej można przejść z powrotem do kolumny pierwszej przez zwolnienie przycisku A. W kolumnie pierwszej znajduje się adres wiersza sąsiedniego *1010*, w tym zaś wierszu adres następnego wiersza *1000* z taktem ustalonym ㉒. Mieliśmy tu do czynienia z przejściem z jednego taktu ustalonego do drugiego nie przez jeden, lecz dwa pośrednie takty przejściowe. Występowanie dwóch taktów przejściowych na ogół nie ma znaczenia praktycznego. W pewnych przypadkach może być jednak korzystne, gdy np. pierwszy wyłącza napęd w lewo, a drugi załącza napęd w prawo. Takie opóźnienie załączania o jeden takt zabezpiecza przed powstawaniem zwarć łukowych. Wszystkie wielokrotne takty przejściowe oznacza się tym samym numerem docelowego taktu ustalonego, w danym przypadku numerem *22*.

W omawianym przykładzie przejście przez dwa takty pośrednie zamiast jednego nie ma praktycznego znaczenia. Stwierdzamy więc jedynie, że naciśnięcie przycisku A załącza napęd w prawo na pracę dorywczą; zwolnienie przycisku powoduje wyłączenie napędu, a załączenie przekaźnika P.

Istnieje jeszcze jedna możliwość zmiany taktu ustalonego ⑨: przejście z czwartej kolumny do sąsiedniej kolumny trzeciej.

Przejście to wymaga naciśnięcia przycisku B przed zwolnieniem przycisku A. Przejście to nie było brane pod uwagę w siatce z rys. 114b. Gdybyśmy jednak sprawdzili skutki takiej manipulacji, to okazałoby się, że takt układu przechodzi z wiersza *0010* do wiersza *0011*, w którym zostają wzbudzone oba styczniki X i Y i manewr kończy się zwarciem w obwodzie mocy.

Wracając do taktu ③ można stwierdzić, że w wierszu drugim, w którym ten takt się znajduje, wszystkie pola odpowiadają taktom ustalonym. Takty te, oznaczone numerami ② do ⑤ różnią się między sobą jedynie stanem wejść, nie różnią się natomiast stanem wzbudzenia. Oznacza to, że omawiany stan wzbudzenia można zmienić jedynie przez naciśnięcie przycisku C i wyłączenie napędu przechodząc jednocześnie poza zakres siatki stanów. Innymi słowy oznacza to, że napęd został załączony na pracę ciągłą.

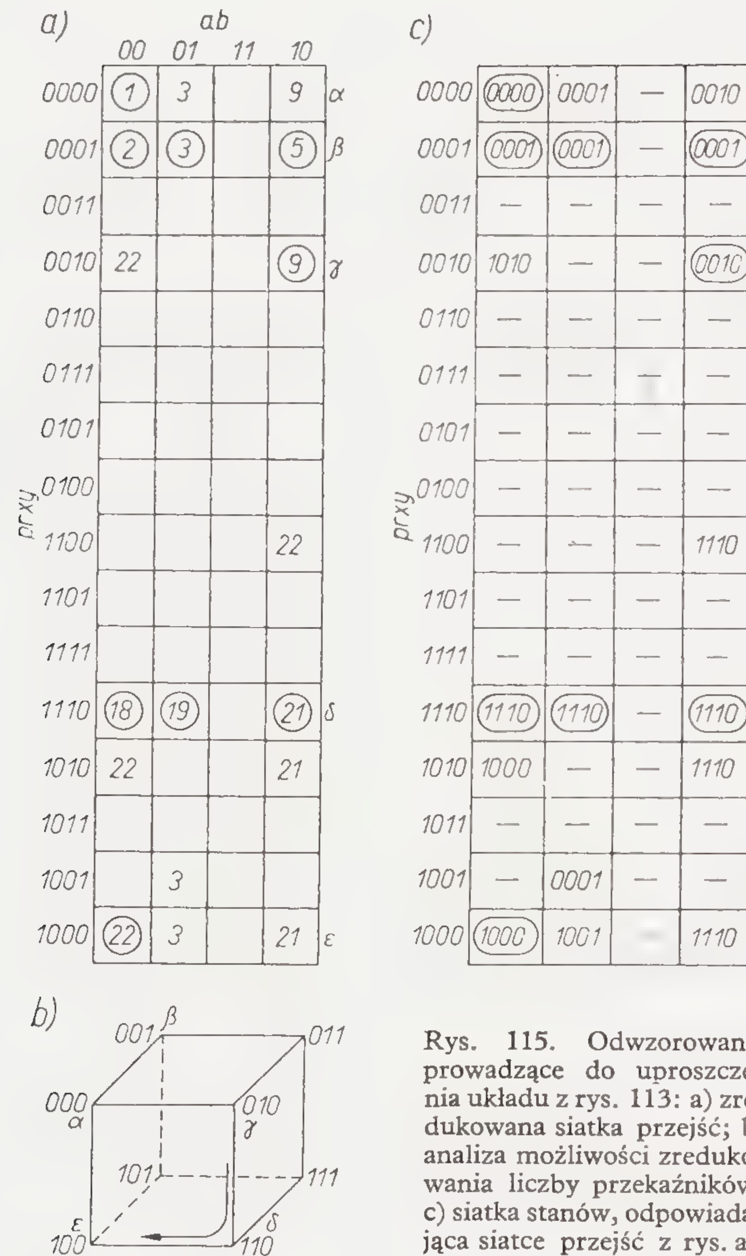
Powracamy z kolei do taktu ㉒. Naciśnięcie w tym takcie przycisku B przerzuca układ do taktu ustalonego ③, a więc ma taki sam skutek, jak naciśnięcie przycisku B przed uruchomieniem napędu. Jeżeli jednak nacisnąć przycisk A, gdy stan wzbudzeń odpowiada taktowi ㉒, to przechodzi się do najniższego pola czwartej kolumny, w którym znajduje się adres wiersza *1110*, a więc wiersza nie sąsiadującego z wierszem *1000*. Adres ten oznacza, że w omawianej sytuacji wprowadzenie sygnału wejściowego $a = 1$ powoduje jednoczesną zmianę stanu wzbudzenia (załączenie) dwóch przekaźników R i X. Wiadomo, że takiej zmianie towarzyszy wyścig. Jeśli oba przekaźniki przestawią równocześnie swe zestyki, trafimy od razu do pola z taktem ㉑; jeżeli najpierw zamknie się zwora przekaźnika R trafimy do pola w wierszu *1100*; jeżeli wreszcie szybszy będzie stycznik X trafimy do pola w wierszu *1010*. W obu polach ㉑ (rys. 114b) znajdujemy adres tego samego wiersza *1110*, sąsiedniego względem obu wierszy *1100* i *1010*. W wierszu *1110* znajduje się takt ustalony ㉑. Przebieg trzech gałęzi wyścigu narysowano strzałkami przerywanymi, we wszystkich gałęziach zmiana stanu wzbudzeń kończy się tym samym stanem ustalonym ㉑. Był to przykład wyścigu nie krytycznego, nie mającego żadnego ujemnego wpływu na przebieg sterowania.

Takt ustalony ㉑ znajduje się w wierszu *1110*, w którym wszystkie pola odpowiadają taktowi ustalonemu. Okazało się więc, że pierwsze naciśnięcie przycisku A załącza napęd w prawo na pracę dorywczą, drugie zaś z kolei naciśnięcie tego samego przycisku A załącza napęd w prawo na pracę ciągłą.

Przeprowadzona analiza układu pozwoliła zorientować się w przeznaczeniu i roli przycisków A i B oraz roli przekaźników pośredniczących P i R. Jednocześnie po prześledzeniu wszystkich możliwych zmian taktów ustalonych, można było stwierdzić, że na siatce znajdują się pola, które w poprzednim przykładzie nazwano polami niedostępnymi (w tym 11 pól niedostępnych z taktami ustalonymi). Spróbujmy, czy znaczna liczba pól niedostępnych nie pozwoli na uproszczenie analizowanego układu.

W tym celu przerysowuje się siatkę przejść z ominięciem taktów nie wykorzystanych (rys. 115). Można stwierdzić, że takty ustalone występują zaledwie w pięciu wierszach siatki, które oznaczono z prawej strony siatki literami α, β, γ, δ, ε. Nasuwa się przede wszystkim pytanie, czy nie można by wobec tego zredukować układu sterowania do jednego przekaźnika P i dwóch styczników X i Y, dających jak wiadomo siatkę z ośmioma wierszami.

Rozważając problem uproszczenia układu można odwzorować osiem możliwych stanów trzech przekaźników za pomocą sześcianu (rys. 115b). Cztery górne naroża odpowiadają niezałączonemu, cztery dolne — załączonemu przekaźnikowi P. Dwa naroża leżące jeden pod drugim, różnią się tylko stanem P. Wierszowi α siatki przejść trzeba podporządkować naroże 000, wierszowi β — naroże 001, wierszowi ε — naroże 100. Wiersze γ i δ muszą zająć naroża 010 i 110, przy czym w narożu 010 można umieścić zarówno wiersz γ jak i δ a w narożu 110 — wiersz pozostały. Ani do taktów ustalonych, ani przejściowych nie można wykorzystywać naroży 011 i 111, w których byłyby jednocześnie załączone styczniki X i Y.

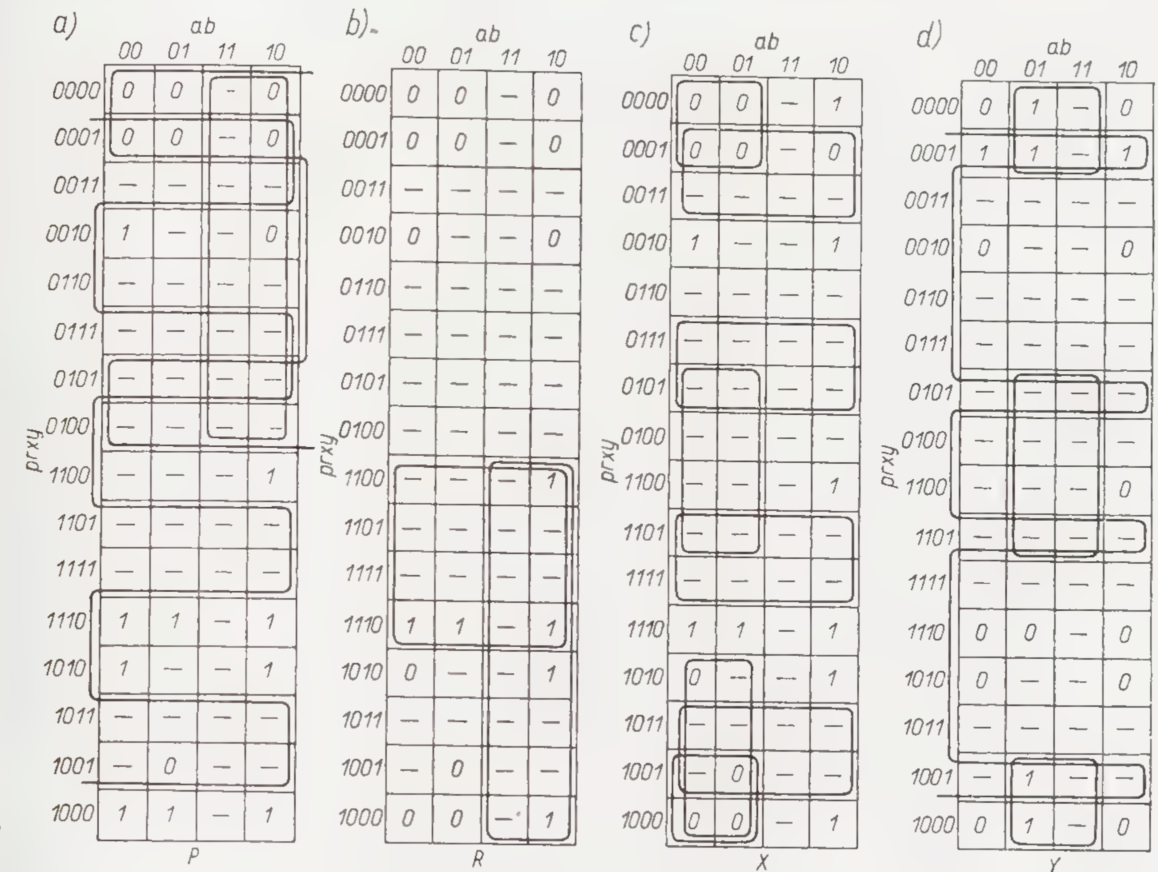


Rys. 115. Odwzorowanie prowadzące do uproszczenia układu z rys. 113: a) zredukowana siatka przejść; b) analiza możliwości zredukowania liczby przekaźników; c) siatka stanów, odpowiadająca siatce przejść z rys. a).

Z siatki przejść oraz z sześcianu można odczytać, że z wiersza (a więc i z naroża sześcianu odwzorowań) α można przejść do wiersza β i γ. Z wiersza γ przechodzi się do wiersza ε. Ponieważ naroża 011 i 111 muszą pozostać niedostępne, jedyna droga z naroża γ do naroża ε prowadzi przez naroże δ, co na rys. 123b zaznaczono strzałką. Wreszcie z wiersza ε trzeba przejść do wiersza δ, a więc na rys. 115b — z naroża ε do naroża δ. Naroże δ służyło już jednak do przeprowadzenia stanu wzbudzenia z wiersza γ do ε. Wprawdzie przejście takie odbywa się w obrębie jednej tylko kolumny, ale po przejściu z wiersza ε do δ w tym ostatnim zostają wykorzystane wszystkie cztery pola. Nie można będzie zatem w wierszu δ zmieścić i czterech stanów ustalonych i jeszcze jednego taktu przejściowego (z γ do ε). Z próby zaoszczędzenia jednego przekaźnika trzeba zatem zrezygnować.

Można próbować uprościć strukturę układu, korzystając jedynie z dowolności stanów w polach niedostępnych. W tym celu należy przerysować siatkę stanów, nie wypełniając w niej pól niedostępnych, a wypełniając jedynie te, w których występują albo ustalone albo przejściowe takty zanotowane w siatce przejść rys. 115a. W polach nie wypełnionych wpisuje się kreski (rys. 115c), które oznaczają, że w tych polach stan wzbudzenia jest obojętny.

Z kolei przekształca się siatkę wzbudzenia $PRXY$ na cztery siatki, oddzielnie dla każdego przekaźnika (rys. 116), aby na ich podstawie ustalić wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia poszczególnych przekaźników, przy czym aby uzyskać



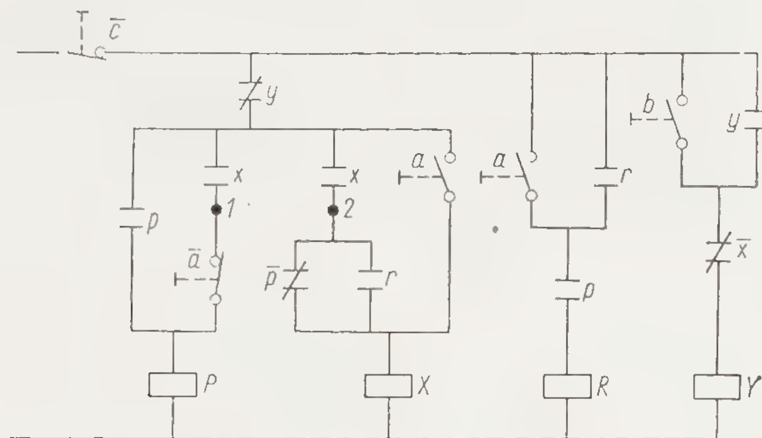
Rys. 116. Rozłożenie siatki stanów wzbudzenia przekaźników: P, R, X i Y na siatki stanów poszczególnych przekaźników

jak najprostsze wyrażenia strukturalne korzysta się z pól ze stanami obojętnymi. W tym celu należy w siatce wyodrębnić podgrupy np. zerowe tak, aby obejmowały one wszystkie pola ze stanem wzbudzenia 0 danego przekaźnika, nie obejmując żadnego pola ze stanem 1. Podobnie podgrupy jedynkowe powinny obejmować wszystkie pola ze stanem 1 i ani jednego ze stanem 0.

W siatce stanów przekaźnika P (rys. 116a) wyodrębniliśmy w ten sposób trzy podgrupy zerowe (obwiedzione liniami) $\bar{a}+p$; $p+x$ i $\bar{y}$. Dają one wyrażenie strukturalne przekaźnika $P=(p+\bar{a})(p+x)\bar{y}=\bar{y}(p+\bar{a}x)$.

Taki sam wynik otrzymalibyśmy, wychodząc z podgrup jedynkowych.

W siatce stanów przekaźnika R (rys. 116b) zakreślono dwie podgrupy jedynkowe ap i pr, dające wyrażenie strukturalne $R = ap+pr = p\,(a+r)$. W podobny sposób znajduje się $X = \bar{y}\,[a+(\bar{p}+r)x]$; $Y = (b+y)\bar{x}$ (rys. 116c, d). Na rysunku 117 przedstawiono schemat układu, narysowany zgodnie z podanymi wyżej wyrażeniami strukturalnymi. Liczba zestyków została zmniejszona z 21 do 14, a w dodatku nie grozi tu nigdy niebezpieczeństwo jednoczesnego załączenia styczników X i Y (w obwodzie X znajduje się zestyk y, a w obwodzie Y — zestyk $\bar{x}$).



Rys. 117. Układ równoważny obwodom z rys. 113 po ich uproszczeniu

W schemacie tym można wyeliminować jeden zestyk x, łącząc przewód *1* z przewodem *2*. Połączenie to nie wprowadza żadnej nowej linii łączeń do obwodu P, natomiast do obwodu X wprowadza linię łączeń $\bar{a}pr\bar{y}$. Wyrażenie $\bar{a}pr\bar{y}$ odpowiada polom, leżącym w wierszu *1100* i *1110* pierwszej i drugiej kolumny. Na rys. 116c w polach tych postawiono kreski, co oznacza, że zapis odpowiednich stanów wzbudzenia jest dowolny, nie odgrywa bowiem żadnej roli. Tym samym można połączyć przewody *1* i *2*, co wprowadza do omawianych pól zapis stanu $X = 1$, zamiast $X = 0$, jaki występuje, gdy przewody *1* i *2* nie są połączone.

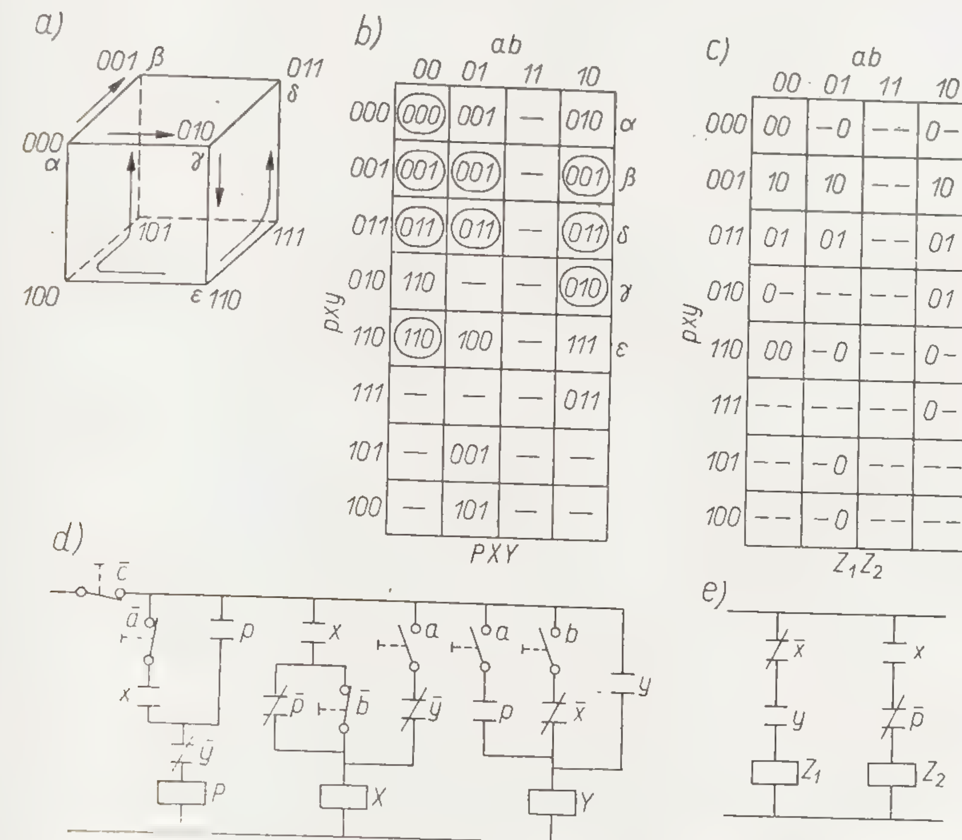
Gdyby analizowany powyżej układ był przeznaczony do sterowania napędu hydraulicznego za pośrednictwem elektrozaworów, można by wtedy zamiast wyjść stycznikowych przyjąć wyjścia przekaźnikowe, a to pozwoliłoby wykorzystać dowolną kombinację wzbudzenia przekaźników (nie obowiązywałby wtedy warunek $XY \neq 1$). W rezultacie można by tę samą funkcję sterowania uzyskać przy zastosowaniu trzech przekaźników P, X, Y.

Aby określić strukturę układu trójprzekaźnikowego, spełniającego tę samą funkcję przetwarzania sygnałów, wystarczy rozmieścić pięć wierszy ze stanami ustalonymi w siatce stanów, obejmującej trzy przekaźniki P, X, Y (rys. 118). Przydzielając wierszom α, β, γ, δ i ε odpowiednie wiersze siatki stanów trzeba jedynie pamiętać, że wierszowi α powinien zostać przydzielony pierwszy wiersz siatki *000* oraz że należy zapewnić możliwość przejścia z wiersza α do wiersza β i γ, z wiersza γ do wiersza ε, z wiersza ε do wierszy β i δ, (zgodnie z siatką przejść na rys. 115a.). Należy dążyć do tego, aby wiersze α i ε, odpowiadające temu samemu stanowi wyjść (napęd zatrzymany), były albo wierszami sąsiednimi, albo były przegrodzone wierszem nie wykorzystanym (wierszem ze stanami obojętnymi). Takie rozmieszczenie uprości strukturę odpowiedniego sygnału wyjścia. Ta sama uwaga odnosi się do wierszy γ i δ, odpowiadających załączeniu napędu w prawo.

Przy rozmieszczeniu w siatce stanów wierszy ze stanami ustalonymi posłużymy się znowu odwzorowaniem stanów wzbudzenia przez naroża sześcianu

(rys. 118a). Wierszowi α przydzielono oczywiście wierzchołek 000; wierszowi β — wierzchołek 001, wierszowi γ — wierzchołek 010.

Z wierzchołka ε powinno być przejście do wierzchołków β, γ i δ, przy czym wierzchołek δ powinien leżeć w pobliżu γ. Jedno z wielu możliwych rozwiązań tego problemu przedstawiono na rys. 118a. Przejścia między taktami ustalonymi wynikające z siatki przejść pokazanej na rys. 115a zaznaczono na rys. 118a strzałkami. Strzałki wskazują nie tylko na takty wyjściowy i końcowy, lecz również na takty przejściowe. Ułatwia to znacznie wypełnienie ośmiowierszowej siatki stanów wzbudzenia przekaźników PXY (rys. 118b).



Rys. 118. Upraszczanie układu z rys. 113 w wariancie z wyjściami przekaźnikowymi: a) analiza możliwości redukcji liczby przekaźników; b) siatka stanów przekaźników: P, X i Y; c) siatka wyjść; d) schemat obwodów sterowania; e) schemat obwodów mocy

Wypełnienie siatki rozpoczyna się od podania z prawej strony siatki oznaczeń wierszy z taktami ustalonymi α, β ... według ich rozmieszczenia w narożach sześcianu (rys. 118a). Tak np. literę δ piszemy przy wierszu *011*. W odpowiednich kolumnach wierszy (posługując się dawną siatką przejść z rys. 115a) wpisujemy ustalone stany wzbudzenia. Tak np. w wierszu γ stan ustalony występuje jedynie w kolumnie *10*. W tym więc polu wpisuje się stan identyczny z oznaczeniem wiersza nowej siatki stanów *010*. W siatce na rys. 115a w wierszu γ znajduje się takt przejściowy *22*, wiodący do wiersza ε; w siatce na rys. 118b należy w tym polu wpisać adres wiersza ε: *110*. W wierszu ε znajdują się takty przejściowe do wiersza β i wiersza δ. W siatce na rys. 118b wypełnienie pól z taktami przejściowymi wymaga chwili zastanowienia, ponieważ jak wskazuje rys. 118a z wiersza ε do wierszy β i δ przechodzi się przez naroża (wiersze) pośrednie. Z wiersza ε do β droga prowadzi najpierw przez naroże *100*, a więc w kolumnie *01* w wierszu *110* należy wpisać adres *100*. Dalej sześcian odwzorowań kieruje nas z naro-

ża *100* do *101*, wobec czego (wciąż w tej samej kolumnie *01*) w wierszu *100* wpisujemy adres *101*, a w wierszu *101* — adres taktu ustalonego *001*.

W ten sam sposób wpisuje się takty przejściowe między ustalonym stanem wzbudzenia *110* (wiersz ε, kolumna *00*), a stanem ustalonym *011* w kolumnie *10*.

Na podstawie siatki stanów (rys. 118b) ustala się wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia przekaźników

$$P = (\bar{a}x+p)\bar{y}; \qquad X = a\bar{y}+(\bar{b}+\bar{p})x; \qquad Y = ap+b\bar{x}+y$$

i rysujemy schemat obwodowy układu (rys. 118d).

Pozostaje jeszcze ustalenie struktury obwodów wzbudzenia elektrozaworów. Zgodnie z umową podaną na początku rozdziału, jeden sygnał wyjściowy (uruchomienie napędu w lewo) oznaczono przez Z_1, drugi (uruchomienie napędu w prawo) przez Z_2. Rysujemy tak zwaną siatkę wyjść (rys. 118c) wypełniając pola siatki stanów z taktami ustalonymi symbolami żądanego stanu wzbudzenia elektrozaworów E_1 i E_2. Dla przykładu w polu z taktem ustalonym, znajdującym się na przecięciu wiersza *010* (wiersza γ) z kolumną *10*, wpiszemy 01, ponieważ według pierwotnej siatki (rys. 115c) w tym polu, oznaczonym numerem taktu ustalonego ⑨ stycznik X jest wzbudzony, a więc jest załączony napęd w prawo.

Po wypełnieniu w ten sposób dziewięciu pól z taktami ustalonymi przystępujemy do wypełnienia w siatce wyjść pól z taktami przejściowymi. Tytułem przykładu omówione będzie przejście z taktu ① do taktu ③ (z wiersza *000* do wiersza *001*). W takcie ① oba elektrozawory są nie wzbudzone, w takcie ③ elektrozawór Z_2 pozostaje nie wzbudzony, natomiast wzbudzony jest elektrozawór Z_1. Wynika z tego, że w takcie przejściowym elektrozawór Z_2 powinien pozostać nie wzbudzony, a więc w odpowiednim polu (wiersz *000*, kolumna *01*) na drugim miejscu należy wpisać stan wzbudzenia 0. Jest natomiast obojętne czy elektrozawór E_1 zostanie wzbudzony dopiero po przejściu układu do stanu ustalonego, czy już w takcie przejściowym. Z tego powodu na pierwszym miejscu można wpisać kreskę, oznaczającą, że stan wzbudzenia elektrozaworu Z_1 w tym polu może być dowolny.

W omówiony sposób wypełnia się w siatce wyjść wszystkie te pola, które były wypełnione również w siatce przejść (rys. 115a) i w siatce stanów (rys. 118b). Z kolei na podstawie gotowej siatki wyjść ustala się zminimalizowane wyrażenia strukturalne obwodów wyjściowych (obwodów wzbudzenia elektrozaworów)

$$Z_1 = \bar{x}y; \qquad Z_2 = \bar{p}x$$

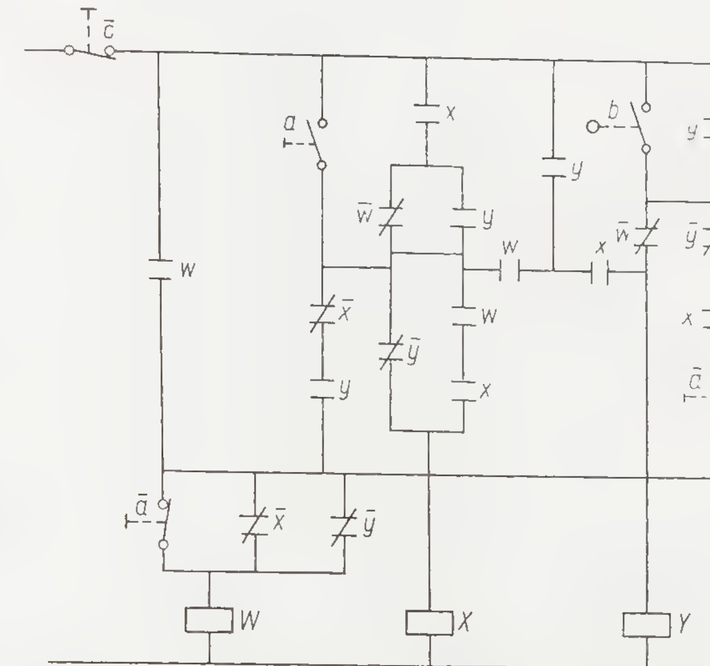
i rysuje schemat tych obwodów (rys. 118e).

Przykład 3. Przeprowadzić analizę układu z trzema przekaźnikami W, X, Y przedstawionego na rys. 119. Obwody wzbudzenia tych przekaźników należą do obwodów mostkowych, dlatego ustalenie ich wyrażeń strukturalnych jest nieco trudniejsze, niż w przypadku obwodów szeregowo-równoległych. Pomijając sygnał „stop" po wykonaniu redukcji otrzymamy wyrażenia:

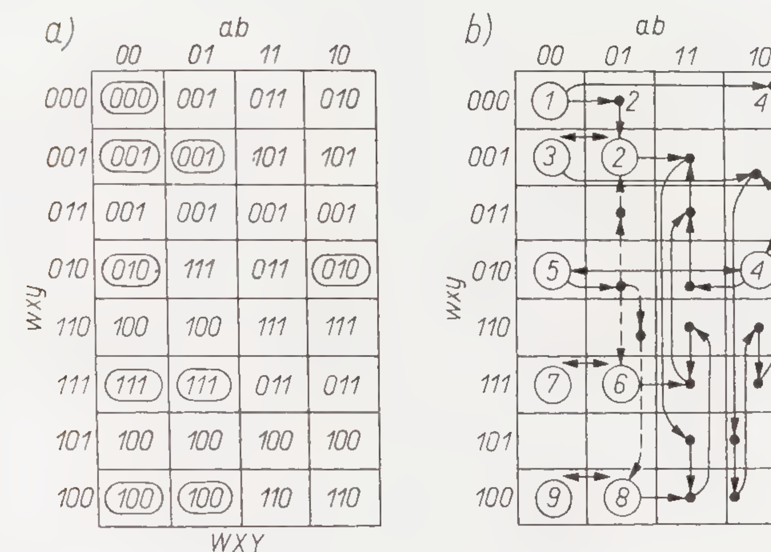
$$W = (a\bar{x}y+\bar{a}bx\bar{y}+w)\,(\bar{a}+\bar{x}+\bar{y});$$
$$X = [a+x\,(\bar{w}+y)]\,(\bar{y}+wx);$$
$$Y = (b+y)\,\bar{w}+(aw+y)\,x$$

Na podstawie podanych zależności można wypełnić siatkę stanów (rys. 120a), oraz siatkę przejść (rys. 120b). Siatki te pozwalają stwierdzić, że naciśnięcie przycisku A prowadzi układ z taktu wyjściowego ① przez takt przejściowy w polu **16**, do taktu ustalonego ④ a zwolnienie przycisku A przeprowadza układ z taktu ④ do taktu ⑤ bez zmiany stanu wzbudzeń. Podobnie naciśnięcie łącznika drogowego B zmienia stan wzbudzenia układu ① na ② (z taktem przejściowym w polu **8**), zwolnienie zaś łącznika B przeprowadza układ do taktu ③

Rozpatrzmy teraz, co będzie się działo, gdy w ustalonym takcie pracy układu ③ zostanie naciśnięty przycisk A. Przy tej okazji będziemy dla wprawy odczytywali z siatki stanów nie tylko kolejne zmiany pól siatki, lecz również zmiany stanów wzbudzenia, śledząc jednocześnie odczytywane zmiany na schemacie z rys. 119.



Rys. 119. Schemat układu sterowania, analizowanego w przykładzie



Rys. 120. Siatka stanów i przejść do przykładu 3: a) siatka stanów; b) siatka przejść

Naciśnięcie przycisku A przeprowadza układ do pola **17** (stan przejściowy *101* wzbudzenie przekaźnika W), skąd przechodzi do pola **21** ze stanem przejściowym *100* (przestawienie zestyków wzbudzonego przekaźnika W spowodowało przerwanie wzbudzenia przekaźnika Y). W wierszu *100*, w polu **20** można odczytać dalszy adres *110*, co znaczy, że przestawienie zestyków odwzbudzonego przekaź-

nika Y spowodowało zamknięcie obwodu wzbudzenia przekaźnika X. W wierszu *110* znajdujemy stan wzbudzenia *111*, który wskazuje na zamknięcie obwodu przekaźnika Y przez zestyk x (zamknięcie wynikające ze wzbudzenia X) i kieruje układ do pola **23**. W tym polu odczytujemy stan wzbudzenia *011* (otwarcie zestyku rozwiernego $\bar{y}$ spowodowało przerwanie obwodu wzbudzenia W). W następnym polu **19** znajduje się zapis stanu wzbudzenia *001* (otwierający się zestyk w przerwał obwód wzbudzenia przekaźnika X), prowadzący do pola **17**, z którego wyszliśmy na początku naszych rozważań. Wiadomo więc, że z pola **17** znowu przechodzi się do pola **20** itd. Jest to typowy przykład niestabilnej pracy układu zwanej również cyklem drgań.

W celu przerwania takich cyklicznych drgań i sprowadzenia układu do stanu ustalonego wystarczy zwolnić przycisk A. Nie można jednak przewidzieć, jaki będzie ustalony stan układu po przestawieniu zestyków przycisku A, ponieważ układ pracował w zamkniętym cyklu drgań, przerzucając się stale z jednego taktu przejściowego do drugiego. Przestawienie zestyków przycisku A musi z konieczności nastąpić w którymś z taktów przejściowych. Jeśli w tym momencie stan układu odpowiadał polu **23**, to układ przejdzie do taktu ustalonego ⑦ (wszystkie przekaźniki wzbudzone); jeśli w polu **20**, **21** lub **22**, to zwolnienie przycisku sprowadzi układ do taktu ⑨ (wzbudzony jedynie przekaźnik w), jeśli zwolnienie przycisku A zastało układ w polu **17** lub **19**, to praca niestabilna zakończy się taktem ustalonym ③.

Inny rodzaj nieprawidłowej pracy układu otrzymamy, gdy podczas taktu ⑤ zostanie naciśnięty łącznik B, co powoduje przejście układu do pola **10** w wierszu *010* i kolumnie *01*. Ponieważ zanotowany w tym polu stan wzbudzenia różni się od poprzedniego wzbudzeniem dwóch przekaźników (W i Y), będziemy mieli do czynienia z wyścigiem i to z wyścigiem krytycznym, który jak pokazują strzałki przerywane, może się skończyć taktem ②, ⑥ lub ⑧.

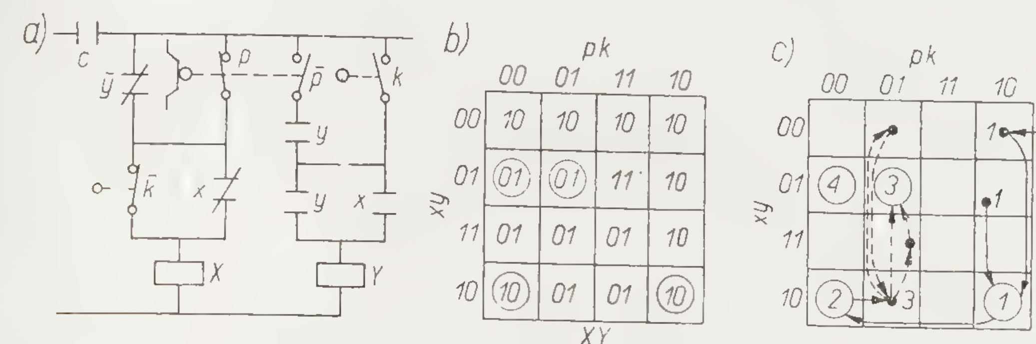
Poprzednio było powiedziane, że istnienie wyścigów krytycznych całkowicie dyskwalifikuje układ sterowania. Zwróćmy uwagę, że struktura obwodu z wyścigiem krytycznym i parametry techniczne użytych przekaźników powodują zwykle, iż prawdopodobieństwo zakończenia wyścigu określonym stanem ustalonym nie jest jednakowe dla wszystkich możliwych stanów. W dodatku w różnych egzemplarzach takiego samego układu rozkład prawdopodobieństw jednego z możliwych zakończeń wyścigu może być również inny. W analizowanym obecnie układzie przy użyciu prawidłowo wykonanych przekaźników, odznaczających się małym rozrzutem czasów wzbudzenia i przyciągania największe prawdopodobieństwo powinno mieć przejście z taktu ⑤ do taktu ⑥ (praktycznie jednoczesna zmiana wartości sygnałów wyjściowych W i Y).

W praktyce w fabrykach obrabiarek jak dotąd pomija się najczęściej sprawdzanie poprawności zaprojektowanego układu sterowania metodami analizy matematycznej, a stosuje się jedynie próby i badania zmontowanego układu prototypowego. Tego rodzaju próba wykaże niewątpliwie od razu fakt występowania zamkniętych cykli drgań w przypadku naciśnięcia przycisku A po uprzednim naciśnięciu i zwolnieniu łącznika B. Najprawdopodobniej zostanie również stwierdzona niewłaściwa praca układu w przypadku naciśnięcia łącznika B, gdy układ znajduje się w takcie ⑤. Zgodnie bowiem z przewidywaniami, w rezultacie takich manewrów układ zapewne zostanie doprowadzony do taktu ustalonego ⑥, nie przewidywanego przez konstruktorów obrabiarki. Jeśli jednak zastosowany w prototypie przekaźnik W na skutek przypadku będzie miał dłuższy czas przyciągania zwory, niż przekaźnik Y, naciśnięcie łącznika B przeprowadzi układ z taktu ⑤ najprawdopodobniej do taktu ②. Zostanie to przyjęte przez prowadzących próby prototypu jako zjawisko całkowicie normalne (łącznik B był przewidziany do włączania przekaźnika Y). Jeśli zaś u użytkownika (czy nawet jeszcze u producenta w toku dalszych prób) będą się zdarzały sporadyczne przypadki innego zakończenia wyścigu, będzie się raczej obwiniać o ten niepożądany rezultat niską jakość użytych przekaźników, niż błędną strukturę układu.

Weźmy wreszcie pod uwagę trzecią kolumnę *11*. W kolumnie tej nie ma ani jednego taktu ustalonego. Można stąd od razu wyciągnąć wniosek, że gdy przycisk A i łącznik krańcowy B znajdują się równocześnie w stanie wymuszonym, to bez względu na to, który z nich został naciśnięty wcześniej, układ przechodzi do pracy niestabilnej. Strzałkami zaznaczono przebieg zamkniętego cyklu drgań wraz z dojściem do niego z taktów ②, ④, ⑥ i ⑧.

Cykl tych drgań można prześledzić posługując się siatką stanów i sprawdzając przebieg na schemacie (rys. 119).

Przykład 4. Dotychczas rozpatrywane były czyste przypadki wyścigu krytycznego i zamkniętego cyklu dgrań. W praktyce istnieją również obwody, w których jedna z gałęzi wyścigu krytycznego prowadzi do zamkniętego cyklu drgań. Na rys. 121a przedstawiono schemat takiego obwodu, przeznaczonego do sterowania cyklem posuwów po zamknięciu zestyku c (włączenie układu na pracę w cyklu automatycznym). Przekaźniki X i Y sterują elektrozaworami hydraulicznego napędu posuwów. Załączenie przekaźnika X powoduje uruchomienie posuwu do przodu, załączenie Y — wycofanie. Włączenie obu przekaźników, powoduje zatrzymanie posuwu. W położeniu wyjściowym naciśnięty jest łącznik krańcowy P, w skrajnym przednim — łącznik K. Na rys. 121b przedstawiono siatkę stanów omawianego obwodu, sporządzoną z pominięciem zestyku c, czyli odpowiadającą sytuacji, gdy zestyk c jest zamknięty. W stanie wyjściowym cyklu jest naciśnięty łącznik krańcowy P, a do momentu zamknięcia zestyku c oba przekaźniki X i Y pozostają nie wzbudzone. Stanu tego siatka b nie obejmuje, wiadomo jedynie, że powinien się on znajdować na poziomie wiersza pierwszego ($xy = 00$). Zamknięcie zestyku c wprowadza rozpatrywane obwody do pola 8, jak to wskazuje strzałka, wchodząca do siatki stanów w jej górnym prawym rogu (rys. 121c).



Rys. 121. Układ sterowania analizowany w przykładzie 4: a) schemat układu; b) siatka stanów; c) siatka przejść

Przejście z jednego taktu do drugiego zaznaczono strzałkami na siatce przejść. Kolumny trzeciej nie bierze się w ogóle pod uwagę, ponieważ sytuacja, w której oba łączniki drogowe byłyby naciśnięte, jest technicznie niemożliwa. Pominięto również rozpatrywanie całego przebiegu sterowania, zatrzymując się jedynie na sytuacji, gdy pod koniec posuwu do przodu zostaje naciśnięty łącznik K, a więc gdy w stanie wzbudzenia ② nastąpi zmiana kolumny z *00* na *01* i przejście do taktu nie ustalonego *3*. Ponieważ jednak w tym polu znajduje się adres do nie

sąsiedniego wiersza *01* (jednocześnie przerwanie wzbudzenia przekaźnika *X* i załączenie przekaźnika *Y*), rozpatrywanemu przejściu towarzyszy wyścig, pokazany w siatce przejść (rys. 121c). Jedna gałąź prowadzi bezpośrednio do żądanego nowego taktu ustalonego ③, a druga do tegoż taktu przez takt pośredni w wierszu *11*, trzecia wreszcie tworzy zamknięty cykl drgań między wierszami *00* i *10*.

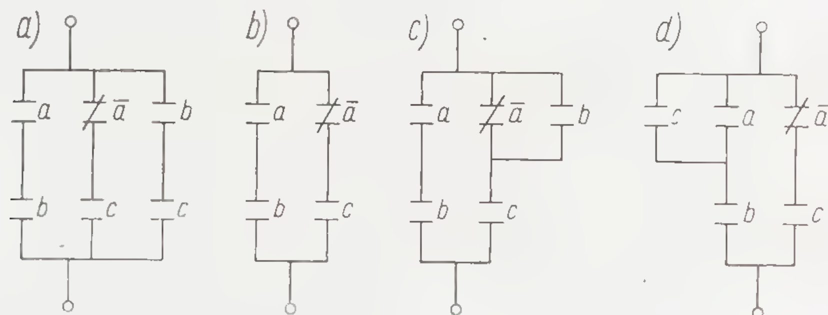
Gdyby nie występowanie tej trzeciej gałęzi, omawiany wyścig byłby nie krytyczny. W trzeciej gałęzi występuje jednak cykl drgań powracający co dwa takty do pola wyjściowego w wierszu *10*, w którym cykl może się powtórzyć, albo też zakończyć, przerzucając wyścig na pierwszą lub drugą gałąź — obie prowadzące do żądanego taktu ustalonego.

Przyjmijmy, że prawdopodobieństwo skierowania wyścigu na każdą z gałęzi jest jednakowe i wynosi 33%. Z założenia tego wynika, iż prawdopodobieństwo dziesięciokrotnego powtórzenia się cyklu drgań wynosi mniej niż 2%. Dziesięć cykli drgań dwutaktowych trwa około 0,2 sekundy (przyjmując okres jednego cyklu około 0,01 s). W praktyce więc układ będzie pracował, jakgdyby chodziło o wyścig nie krytyczny: w najgorszym przypadku żądany takt ustalony pojawi się z opóźnieniem kliku sekund. Zatem podczas prób układu, zamontowanego według schematu przedstawionego na rys. 121a może w ogóle ujść uwadze obsługi występowanie zamkniętych cykli drgań, a użytkownik słysząc od czasu do czasu krótkotrwałe brzęczenie w szafce sterowniczej przyjmie to prawdopodobnie jako objaw wadliwej pracy przekaźników. W rezultacie jednak owych powtarzających się drgań przekaźniki *X* i *Y* będą podczas eksploatacji wykonywały parokrotnie więcej przestawień, niż wynikałoby to z częstotliwości przestawiania łączników *p* i *k*. Wpłynie to oczywiście na znaczne obniżenie trwałości eksploatacyjnej przekaźników.

3. Hazard

3.1. Definicja. Wpływ na niesprawność obwodów wielotaktowych

Podany w rozdziale piątym wzór redukcyjny (13a) umożliwia uproszczenie obwodu sześciozestykowego (rys. 122a) do równoważnego mu obwodu czterozestykowego (rys. 122b). Mimo tej możliwości redukcji liczby zestyków w obwodzie, w praktyce układów przekaźnikowych częściej korzysta się ze wspomnianego wzoru redukcyjnego, by przejść od postaci czterozestykowej (rys. 122b) do postaci sześciozestykowej (rys. 122a), albo jednej z postaci pięciozestykowych (rys. 122c i d).



Rys. 122. Przykład równoważnych obwodów z hazardem i bez hazardu pierwszego stopnia w podgrupach jedynkowych: a) obwód bezhazardowy, b) ten sam obwód z hazardem po uproszczeniu według zależności (13a); c) i d) zminimalizowane warianty bezhazardowe tego samego obwodu

Takie rozbudowywanie obwodu, pozornie sprzeczne z zasadą dążenia do minimalizacji obwodu, tłumaczy się występowaniem hazardu w obwodzie uproszczonym.

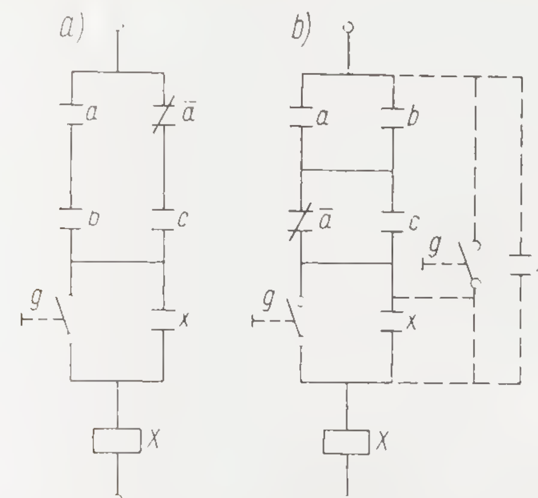
Hazardem nazywa się niepożądaną zmianę stanu obwodu, występującą w takcie przejściowym między takimi dwoma taktami ustalonymi, w których stan układu jest jednakowy. Ta krótkotrwała zmiana stanu występuje na skutek tego, że w stanie przejściowym, ze zrozumiałych względów technicznych, dwa dopełniające się zestyki (zwierny i rozwierny) tego samego łącznika nie mogą jednocześnie spełniać obu zależności ($a\bar{a} = 0$; $a+\bar{a} = 1$) między zmienną i jej negacją. W normalnym wykonaniu oba zestyki pozostają w stanie przejściowym przez chwilę otwarte, nie spełniają więc warunku $a+\bar{a} = 1$. W specjalnym wykonaniu spotyka się pary zestyków przełączających bezprzerwowo, w których najpierw następuje zamknięcie jednego zestyku, a następnie otwarcie drugiego. W stanie przejściowym nie jest wtedy spełniony warunek $a\bar{a} = 0$.

Skutki tej różnicy między działaniem łącznika idealnego i rzeczywistego omówione będą na przykładzie obwodu pokazanego na rys. 122. w założeniu, że łącznik *A* jest wyposażony w zestyki w wykonaniu normalnym, a więc, że podczas przestawienia łącznika przez chwilę są otwarte oba zestyki *a* i $\bar{a}$.

Jeżeli w pewnym takcie ustalonym zamknięte są zestyki *a*, *b* i *c*, to wszystkie odmiany obwodów, podane na schematach rysunku 122, są również zamknięte. Po ewentualnej zmianie położenia łącznika *A*, w nowym stanie ustalonym, wszystkie te obwody są w dalszym ciągu zamknięte. Jednakże w stanie przejściowym, gdy zestyk *a* i zestyk $\bar{a}$ są jednocześnie otwarte, stale zamknięte pozostają jedynie obwody a), c) i d) (rys. 122a) natomiast obwód uproszczony (rys. 122b) zostaje na chwilę przerwany. Stan tego obwodu w takcie przejściowym różni się więc od stanu w obu stanach ustalonych: poprzedzającym i następującym po przestawieniu łącznika *A*, mamy zatem do czynienia z hazardem.

W obwodach jednotaktowych hazard nie wprowadza zasadniczych zmian do przebiegu sterowania, powoduje on tylko niepotrzebne obciążenie zestyków łącznika *A* (iskrzenie przy otwieraniu zestyków). Jeśli obwód z hazardem znajduje się w obwodzie wzbudzenia stycznika, może to doprowadzić do otwarcia na chwilę zestyków głównych. Taka krótkotrwała przerwa zasilania obwodu mocy nie będzie szkodliwa ani dla silnika, ani dla napędzanego przezeń mechanizmu, lecz znowu niepotrzebnie opala styki stycznika.

Jeżeli jednak obwód z hazardem znajduje się w obwodzie wielotaktowym (rys. 123a), to może się zdarzyć, że podczas krótkotrwałej przerwy w obwodzie



Rys. 123. Wyeliminowanie hazardu w podgrupach jedynkowych przez przejście na obwody złożone z podgrup zerowych

wzbudzenia przekaźnika X zdąży się otworzyć jego zestyk x, a wtedy po przejściu zestyków a i $\bar{a}$ do stanu ustalonego obwód przekaźnika X nie powróci do stanu zamkniętego.

Przy omawianiu schematu przedstawionego na rys. 123. użyty został zwrot: „może się zdarzyć", ponieważ rezultat końcowy zależy od czasu, w ciągu jakiego oba zestyki a i $\bar{a}$ są otwarte i czasu otwierania zestyków przekaźnika X. Ponieważ te przedziały czasu zmieniają się nie tylko w zależności od zużytych egzemplarzy łączników A i X, lecz również w zależności od warunków pracy (temperatura otoczenia, temperatura uzwojeń wzbudzenia, chwilowa wartość napięcia zasilającego itp.), końcowy rezultat przestawienia zestyków łącznika A jest z reguły sprawą przypadku. Dlatego właśnie omawiane zjawisko nosi nazwę hazardu, która to nazwa została przerzucona również na samą strukturę obwodu. Mówi się o obwodzie z hazardem, albo obwodzie bezhazardowym. Zjawisko hazardu w obwodach wielotaktowych jest tym bardziej niebezpieczne dla układu, że ta niewątpliwa usterka może nie ujawnić się ani przy badaniach prototypu układu, ani przy sprawdzaniu pracy układów w maszynach produkcji seryjnej i powodować zakłócenia w pracy maszyny dopiero u użytkownika.

Jeśli łącznik A i przekaźnik X należą do tego samego typu łączników elektromagnetycznych (np. oba są przekaźnikami, lub stycznikami tego samego typu), to czas przerwy w obwodzie, spowodowanej przestawieniem zestyków łącznika A jest wyraźnie krótszy od czasu zamykania, lub otwierania przekaźnika X. Różnica ta w przypadku konkretnych typów przekaźników może zredukować do zera prawdopodobieństwo przerwania obwodu na skutek hazardu. Aby jednak można było dopuszczać stosowanie dla takich przekaźników obwodów z hazardem, odpowiednie typy łączników muszą zostać dokładnie przebadane. Badania takie nie są łatwe, ponieważ muszą uwzględniać wspomniane różnorodne warunki pracy, obejmować większą liczbę aparatów i trwać odpowiednio długo. Np. firma Siemens w wyniku przeprowadzonych badań dopuszcza stosowanie obwodów z hazardem jedynie w przypadku styczników serii K915, oznaczonych symbolem 0 i 1. Dopóki jednak projektant układu nie może się oprzeć na odpowiednim zapewnieniu ze strony producenta danego aparatu, nie wolno mu dopuścić do występowania hazardu w opracowanym przez siebie układzie.

Przy omawianiu w rozdziale piątym wzoru (13a) stwierdzono, że wyrażenie strukturalne $(a+b)(\bar{a}+c)$ po otwarciu nawiasów daje sumę iloczynów $\bar{a}b+ac+bc$, w której występuje iloczyn bc, teoretycznie zbyteczny. Ze schematu pokazanego na rys. 122a widać, że w rozpatrywanym obwodzie hazard likwiduje właśnie linia łączeń bc. Wynikałoby stąd, że wyrażenie strukturalne złożone z podgrup zerowych $(a+b)(\bar{a}+c)$ powinno być wolne od hazardu. Istotnie, rozpatrując schemat odpowiedniego obwodu (rys. 123b) można stwierdzić, że w przypadku, gdy $bc = 1$, przestawienie łącznika A nie powoduje w takcie przejściowym otwarcia obwodu. Gdyby jednak zastosować łącznik A z parą zestyków a - $\bar{a}$ przełączających bezprzerwowo, zlikwiduje to hazard w obwodzie na rys. 123a, wprowadza się go natomiast do obwodu na rys. 123b. Tym razem będzie on miał inny charakter — w przypadku, gdy obwód jest otwarty $a+c = 0$, lub $\bar{a}+b = 0$ przestawienie łącznika A spowoduje w takcie przejściowym chwilowe zamknięcie obwodu. Taki hazard mógłby jednak spowodować niepożądane załączenie przekaźnika X jedynie wtedy, gdyby zestyk g i zestyk x były tak połączone, jak to pokazano liniami przerywanymi.

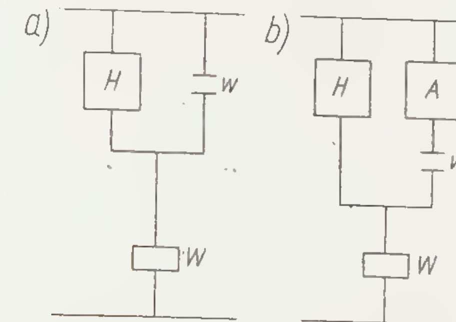
Z uwagi na zasadniczą różnicę między obiema odmianami hazardu odmianę pierwszą nazywa się **hazardem w podgrupach jedynkowych**, drugą zaś — powodującą zamknięcie obwodu w takcie przejściowym (rys. 123b) — **hazardem w podgrupach zerowych**.

Projektant musi oczywiście umieć wykrywać hazard w obwodach oraz umieć znajdować rozwiązania, zabezpieczające układ przed przypadkowymi niesprawnościami, powodowanymi przez obwody z hazardem.

3.2. Wykrywanie hazardu w obwodach

Ponieważ hazard w podgrupach zerowych może wprowadzić zakłócenia w pracy układu jedynie w przypadku zastosowania łączników z połączeniem bezprzerwowym, a więc łączników w wykonaniu specjalnym, to stosując łączniki w wykonaniu normalnym nie ma powodu do obaw o przypadkowe ujemne skutki hazardu w podgrupach zerowych. Analizując układ przy poszukiwaniu obwodów z hazardem wystarczy ograniczyć się do hazardu w podgrupach jedynkowych, a przejście z tych podgrup na podgrupy zerowe traktować jako zabezpieczenie układu przed skutkami hazardu.

Zwróćmy jeszcze uwagę, że jeżeli obwód z hazardem (obwód H na rys. 124) znajduje się w obwodzie wzbudzenia przekaźnika W i jest połączony równolegle z zestykiem w podtrzymującym zasilanie (rys. 124a), to hazard w tym przypadku nie odgrywa żadnej roli. Jeśli bowiem $W = 1$, to i $w = 1$, a wtedy $H+w = 1$. Uwaga ta oczywiście dotyczy jedynie hazardu w podgrupach jedynkowych ale tylko tego rodzaju hazard jest tutaj omawiany.



Rys. 124. Przykłady obwodów, w których hazard w podgrupach jedynkowych nie jest szkodliwy

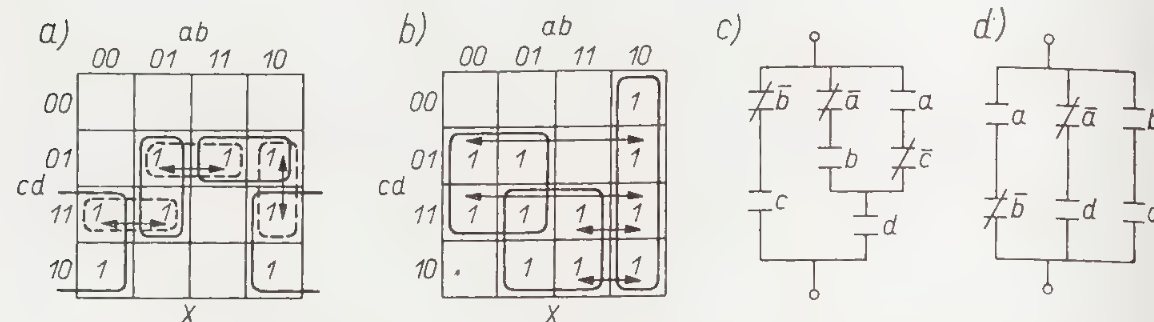
Podobnie można nie brać pod uwagę hazardu w obwodzie H, włączonym w obwód wzbudzenia W tak, jak na rys. 124b. Jeśli bowiem obwód A jest zamknięty, to występuje przypadek omówiony wyżej, jeśli zaś $A = 0$, to mamy do czynienia z obwodem jednotaktowym i możemy zrezygnować z usuwania ewentualnego hazardu.

W przypadkach obwodu o liczbie zmiennych nie przekraczającej czterech, najłatwiej wykryć hazard, obwodząc w siatce stanów podgrupy odpowiadające poszczególnym wyrazom wyrażenia strukturalnego. W rozdziale piątym było powiedziane, że w odwzorowaniu wyrażenia $\bar{a}b+ac+bc$ podgrupy $\bar{a}b+ac$ stykają się ze sobą, tworząc jakby przerwę graniczną, którą pokrywa dodatkowa pozornie zbyteczna podgrupa bc. Jeżeli więc w odwzorowaniu wyrażenia strukturalnego podgrupy jedynkowe stykają się jedynie ze sobą, a nie zachodzą na siebie, to w obwodzie odpowiadającym takiemu wyrażeniu występuje hazard przy zmianie stanu obwodu, przechodzącej przez linię styku.

Zgodnie z zasadami minimalizacji obwodów na podstawie odwzorowania podanego na rys. 125a ustalimy wyrażenie strukturalne złożone z podgrup jedynkowych $b\bar{c}+d(\bar{a}b+a\bar{c})$, któremu odpowiada obwód przedstawiony na rys. 125c. W siatce *Karnaugha* zaznaczono przejścia pomiędzy sąsiednimi polami, które mogą

powodować hazard, ponieważ prowadzą one przez linie styku podgrup. Podejrzenie to potwierdza się przy analizie obwodu rys. 125c.

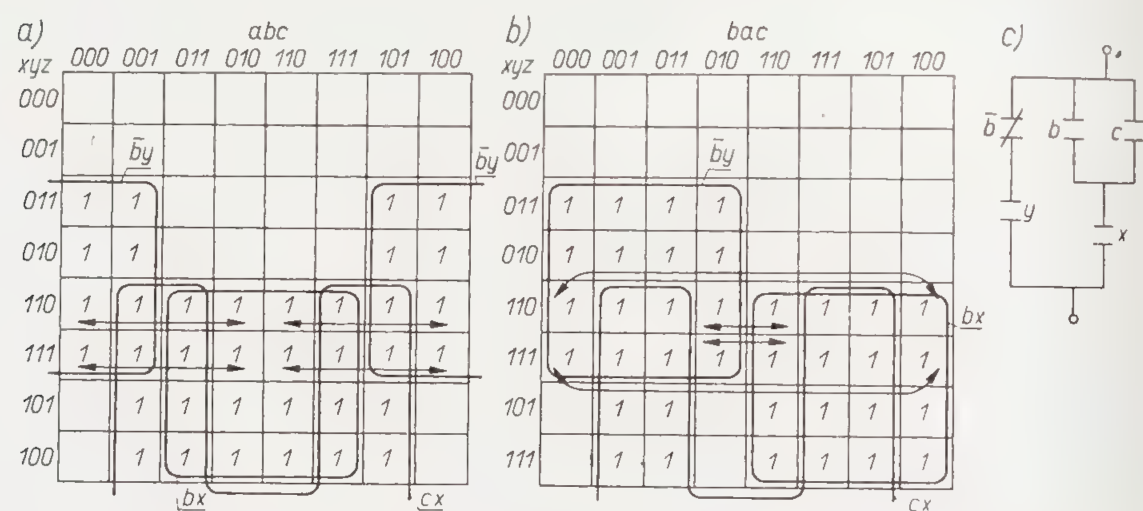
Inny przykład obwodu z hazardem, którego wszystkie możliwe przypadki wykazuje odwzorowanie na rys. 125b, podaje schemat (rys. 125d), odpowiadający zminimalizowanej postaci wyrażania strukturalnego, złożonego z podgrup jedynkowych $ab+\bar{a}d+bc$.



Rys. 125. Wykrywanie hazardu na podstawie siatki stanów: a) siatka stanów wskazująca na występowanie hazardu podczas przestawiania łączników A, B i C; b) schemat obwodu, odpowiadającego odwzorowaniu a): c) siatka stanów z hazardem podczas przestawiania łączników A i B; d) schemat obwodu

W przypadku odwzorowania funkcji w siatce o większej liczbie pól lub wierszy, niż osiem, nie zawsze można dostrzec, czy wszystkie podgrupy wyrażenia zachodzą na siebie, czy tylko stykają się z sobą.

Na rysunku 126a przedstawiono odwzorowanie obwodu $\bar{b}y+(b+c)\,x$, którego schemat podano na rys. 126c. Na podstawie rys. 126a można sądzić, że wszystkie podgrupy jedynkowe zachodzą na siebie, ponieważ nie widać ani jednego styku między podgrupami, nie pokrytego inną podgrupą. Okazuje się jednak, że przejściom między polami, połączonymi strzałkami, towarzyszy hazard. Pozornie fałszywa informacja pochodzi stąd, że w większych siatkach *Karnaugha* istnieją, jak wiemy, kolumny i wiersze sąsiednie w znaczeniu tym, że różnią się stanem tylko jednej zmiennej, nie wykazujące jednak sąsiedztwa topograficznego.



Rys. 126. Wykrywanie hazardu w obwodach o większej liczbie zestyków: a) odwzorowanie obwodu nie uwidaczniające hazardu; b) odwzorowanie tego samego obwodu z widocznym hazardem

Hazard między wspomnianymi wyżej polami towarzyszy zmianie stanu zmiennej b, jeżeli więc zmienić odwzorowanie tak, by jeden stan zmiennej b obejmował jedną, a drugi — drugą połowę siatki (rys. 126b), to od razu zauważymy, że między omawianymi polami występuje linia styku podgrup.

Najpewniejszego sposobu wykrycia ewentualnego hazardu w obwodzie dostarcza metoda algebraiczna. Hazard może występować jedynie wtedy, gdy w danym wyrażeniu strukturalnym jest przynajmniej jedna zmiana, np. a w obu postaciach a i $\bar{a}$. Wtedy wyrażenie sprowadza się do postaci $ax+\bar{a}y+w$, gdzie x, y i w mogą być funkcjami wielu zmiennych. W wyrażeniu tym hazard istnieje, jeśli $w < xy$, nie istnieje zaś, gdy $w \geqslant xy$.

Przykładowo można rozważyć trzy podobne wyrażenia strukturalne

1) $a\,(x+y)+\bar{a}\,(x+w)+wy$;

2) $a\,(x+y)+\bar{a}\,(x+w)+x+wy$;

3) $a\,(x+y)+\bar{a}\,(x+w)+x+y$

Przemnażamy $(x+y)\,(x+w) = x+wy$, a następnie stwierdzamy, że $wy < x+wy$; $x+wy = x+wy$; $x+y > x+wy$. Jak widać, jedynie pierwsze z trzech podanych wyrażeń strukturalnych odpowiada obwodowi z hazardem.

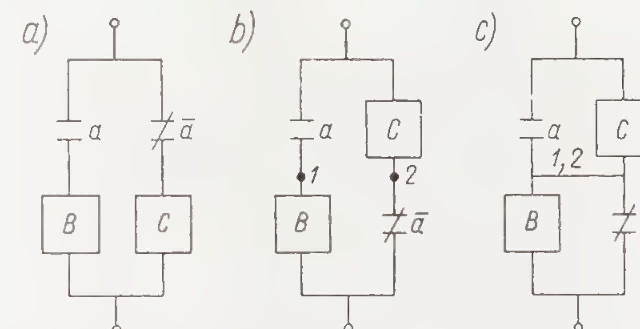
Jeżeli w wyrażeniu z hazardem znajduje się więcej niż jedna zmienna występująca w obu postaciach, to powyższe sprawdzenie powtarza się oddzielnie dla każdej zmiennej.

Można również zastosować metodę mieszaną w oparciu o odwzorowanie (rys. 126b). Polega ona na tym, że po wykryciu zmiennej, podejrzanej o wprowadzenie hazardu do obwodu, umieszczamy ją na pierwszym miejscu oznaczenia kolumn lub wierszy siatki *Karnaugha*.

3.3. Eliminowanie hazardu w obwodzie

Ponieważ przyczyną hazardu w podgrupach jedynkowych jest krótkotrwałe jednoczesne otwarcie zestyku zwiernego i rozwiernego w takcie przejściowym, to najprostszym sposobem wyeliminowania hazardu jest w przypadku podgrup jedynkowych zastosowanie par zestyków przełączających bezprzerwowo.

Eliminację hazardu na drodze strukturalnej uzyskuje się — znowu w przypadku podgrup jedynkowych — przechodząc na wyrażenie złożone z podgrup zerowych. Zmianę taką uzyskuje się szczególnie łatwo w przypadku, gdy obwód z hazardem ma postać pokazaną na rys. 127a, będącą uogólnieniem obwodu z rys. 122a. W takim przypadku wystarczy wykorzystać zależność $aB+\bar{a}C = (a+C)\,(a+B)$, aby otrzymać bezhazardową odmianę tego samego obwodu,

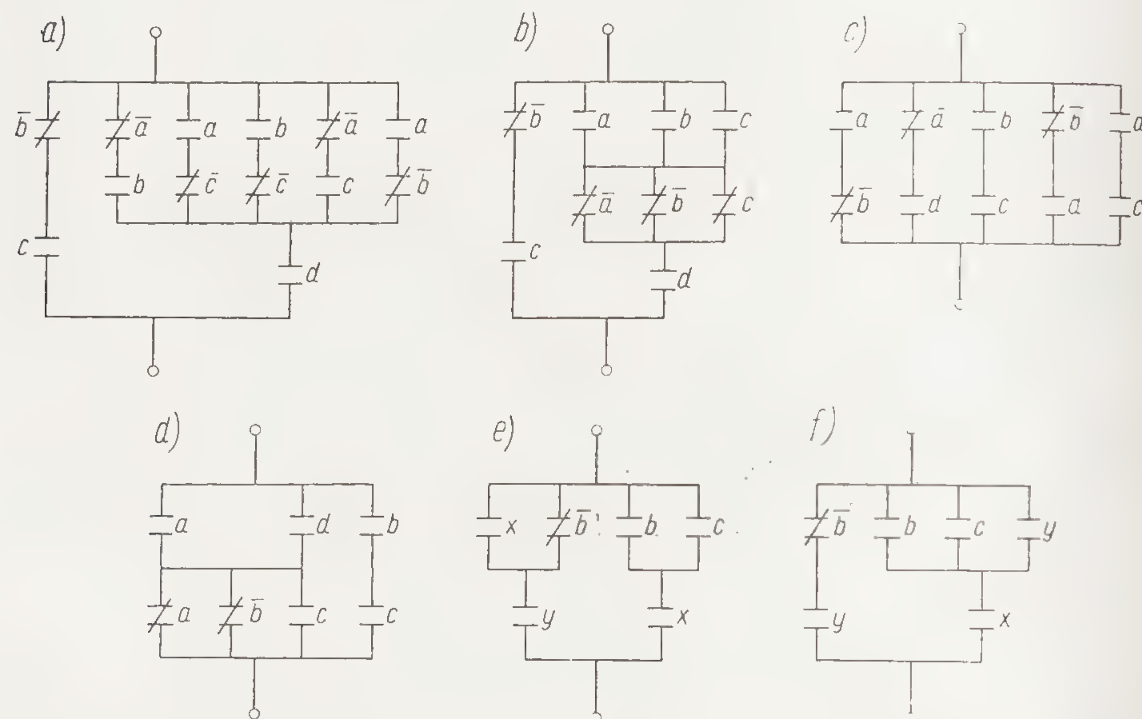


Rys. 127. Przykład możliwości usunięcia hazardu przez zmianę konfiguracji elementów obwodu: a) obwód z hazardem; b) ten sam obwód po zmianie konfiguracji, pozwalającej na dodatkowe połączenie wewnętrzne; c) wykorzystanie możliwości dodatkowego połączenia eliminującego hazard

pokazaną na rys. 127c, odpowiadającą rysunkowi 123b. Połączenie przewodów *1* i *2*, różniące wariant 127c od 127b powoduje wyeliminowanie hazardu. Do tego typu obwodów należą obwody podane na rysunkach 70, 71, 72, 74 i 75. Bezhazardowy obwód z rysunku 70 otrzymuje się po dwukrotnym zastosowaniu podanej wyżej reguły. Rozpatrując obwód pokazany na rysunku 71 należy zwrócić uwagę, że $ay+\bar{a}\bar{y}$ jest negacją sumy $a\bar{y}+\bar{a}y$. Podobne zależności występują w obwodach na rysunku 75.

Jeżeli obwód z hazardem ma strukturę bardziej złożoną, to niejednokrotnie najszybsze dojście do strukturalnego wyeliminowania hazardu polega na dodaniu podgrup, pokrywających linie styków w odwzorowaniu *Karnaugha*, a następnie przeprowadzeniu uproszczeń na schemacie. Dodatkowe podgrupy można określić albo na podstawie siatki stanów, albo też z wyrażenia strukturalnego.

W wyrażeniu strukturalnym $\bar{b}c+\bar{a}bd+a\bar{c}d$ (rys. 125) występuje potrójny hazard przy zmianie stanu łączników *A*, *B* i *C*. Na podstawie ustaleń poprzedniego paragrafu pierwszy z tych hazardów zostaje wyeliminowany przez dodanie wyrazu $b\bar{c}d$, drugi — wyrazu $\bar{a}cd$, trzeci wreszcie — $a\bar{b}d$. Te same wyrazy można odczytać z siatki (rys. 125a, podgrupy obwiedzione linią przerywaną). Po dodaniu ich do pierwotnego wyrażenia strukturalnego otrzymuje się obwód bezhazardowy $\bar{b}c+d\,(\bar{a}b+a\bar{c}+b\bar{c}+\bar{a}c+a\bar{b})$. Rys. 128a przedstawia schemat takiego obwodu, rys. 128b ten sam obwód po przeprowadzeniu redukcji. W rezultacie hazard został wyeliminowany kosztem dwóch dodatkowych zestyków.



Rys. 128. Przykłady eliminowania hazardu: a) eliminacja hazardu w obwodzie z rys. 125c; b) ten sam obwód po przeprowadzeniu minimalizacji; c) eliminacja hazardu w obwodzie z rys. 125d; d) ten sam obwód po przeprowadzeniu minimalizacji; e) i f) dwie możliwości wyeliminowania hazardu z rys. 126c

Obwód z rys. 125d w celu wyeliminowania hazardu należy uzupełnić liniami łączeń $\bar{b}d$ i ac. Otrzymuje się wtedy obwód przedstawiony na rysunku 128c, a po uporządkowaniu — obwód z rys. 128d. Tym razem wyeliminowanie hazardu kosztowało tylko jeden dodatkowy zestyk.

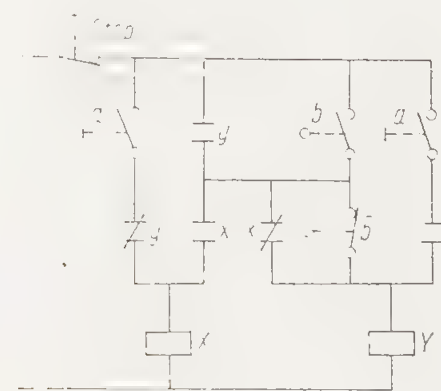
Również kosztem jednego zestyku eliminuje się hazard w obwodzie z rys. 126c. Istnieją dwa warianty bezhazardowej postaci tego obwodu, podane na rys. 128e,f. Próba wyeliminowania hazardu przez zastosowanie podgrup zerowych prowadzi do wyrażenia strukturalnego o postaci $(b+c+y)\,(x+\bar{b}y)$, a więc również sześcioliterowego. Natomiast wyrażenie strukturalne odwzorowania z rys. 125a, złożone z podgrup zerowych, ma postać $[\bar{b}+d\,(\bar{a}+\bar{c})]\,[c+d\,(a+b)]$ dającą oszczędność jeszcze jednego zestyku w porównaniu z obwodem z rys. 128b. Zwróćmy uwagę, że występowanie większej liczby zestyków w obwodach złożonych z podgrup zerowych na rys. 73 i 78 niż w odpowiednich obwodach złożonych z podgrup jedynkowych jest właśnie ceną, jaką trzeba zapłacić za wyeliminowanie hazardu.

Ponieważ zjawisko hazardu jest związane z określonym przejściem z jednego stanu ustalonego obwodu do drugiego, można w układach spotkać przypadki hazardu pozornego, występującego jedynie przy przejściach, które w danym układzie nie mogą mieć miejsca. Taki przypadek wystąpi, jeżeli np. w obwodzie na rys. 122b zestyki *b* i *c* będą zestykami dwóch łączników drogowych, które ze względu na ich rozmieszczenie nie mogą nigdy znaleźć się równocześnie w stanie wymuszonym.

Hazard pozorny nie ma oczywiście żadnego ujemnego wpływu na poprawną pracę danego obwodu. Jeżeli w odwzorowaniu wyrażenia strukturalnego danego obwodu na siatce *Karnaugha* występuje styk dwóch podgrup jedynkowych nie pokrytych trzecią podgrupą, i jeżeli przez tę linię styku nie prowadzi na siatce przejść żadna linia przejścia, to znaczy, że występujący w tej sytuacji hazard jest hazardem pozornym. Nie ma więc potrzeby eliminowania takiego hazardu.

3.4. Hazard wyższych stopni

Omówione przypadki hazardu należą do hazardu pierwszego stopnia. Istnieje również hazard wyższych stopni, występujący w układach wieloobwodowych, a polegający na tym, że podczas trwania stanu przejściowego łącznika wywołującego ten hazard mogą zajść kolejne zmiany w dwóch (hazard drugiego stopnia) i więcej obwodach. Hazard wyższych stopni może być przyczyną niesprawności układu jedynie w tych przypadkach, gdy stan przejściowy wspomnianego łącznika trwa długo w porównaniu z czasem zamykania lub otwierania łączników sterowanych przez jego zestyki. Hazard taki można wyeliminować jedynie przez zastosowanie zestyków przełączających bezprzerwowo.



Rys. 129. Przykład hazardu drugiego stopnia

Na rysunku 129 podano przykład układu z hazardem 2 stopnia. Jeżeli przekaźniki *X* i *Y* są załączone, a łącznik drogowy *B* nie naciśnięty, to naciśnięcie łącznika powinno spowodować przerwanie obwodu jedynie przekaźnika *Y*. Je-

żeli jednak ten łącznik jest typu zwykłego, z zestykami przestawionymi nie migowo i nie bezprzerwowo, to między otwarciem zestyku b i zamknięciem zestyku b może upłynąć tyle czasu, że zdąży się otworzyć najpierw zestyk y w obwodzie X i spowodować otwarcie zestyku x w tymże obwodzie, w wyniku tego oba przekaźniki X i Y zostaną wyłączone.

Wykrywanie przypadków hazardu wyższych stopni metodami analitycznymi nie jest łatwe. Hazard taki może jednak zakłócić przebieg sterowania jedynie wtedy, gdy jest on spowodowany przez łącznik o stosunkowo powolnym przestawieniu zestyków (np. przycisk sterowniczy). Wtedy czas jednoczesnego otwarcia zestyków zwiernych i rozwiernych takiego łącznika może być zbliżony do czasu Δt, upływającego między zmianą stanu wzbudzenia przekaźnika i zmianą stanu zestyków tego przekaźnika. Zazwyczaj czas ten jest około dziesięciokrotnie krótszy niż Δt. W układach sterowania takich powolnie przestawianych łączników występuje niewiele, najprościej więc jest sprawdzić na podstawie bezpośredniej analizy schematu zachowanie się układu w przypadku przestawiania łączników o działaniu nie migowym.

Rozdział dziewiąty

Synteza obwodów wielotaktowych

Opisana w tym rozdziale i wyjaśniona na szeregu przykładach metoda syntezy obwodów wielotaktowych została opracowana przez *D. S. Huffmana*. Odznacza się ona takimi zaletami, jak uniwersalność, ścisłość oraz prostota i przejrzystość.

Huffman rozwinął swoją metodę syntezy równolegle z poznaną w poprzednim rozdziale metodą analizy. Metoda syntezy polega właściwie na odwróceniu kolejności poszczególnych etapów rozumowania, stosowanych w analizie. Przy analizie punktem wyjściowym jest gotowy schemat układu, z którego odczytuje się i zapisuje wyrażenia strukturalne poszczególnych obwodów, aby przez analizę uzyskać odpowiedź na podstawowe pytania: 1) jaka jest funkcja przejścia układu (program pracy); 2) czy w przebiegu przetwarzania sygnałów wejściowych na wyjściowe nie zachodzą nieprawidłowości albo systematyczne, albo przypadkowe; 3) czy rozpatrywany układ nie stawia specjalnych wymagań aparaturze; 4) czy analizowany układ można uprościć.

Jest rzeczą zrozumiałą, że charakter i ciężar gatunkowy odpowiedzi będą inne w odniesieniu do pierwszego pytania, a inne w odniesieniu do pozostałych. Znalezienie odpowiedzi na pierwsze pytanie jest potrzebne jedynie w niecodziennym raczej przypadku analizy układu, którego analizujący nie zna jeszcze i którego funkcję zamierza właśnie „rozszyfrować”, to znaczy ustalić związki między poszczególnymi sekwencjami sygnałów wejściowych i odpowiadającymi im sygnałami wyjściowymi.

Na pozostałe pytania poprawnej odpowiedzi udzieli analiza układu jedynie przy założeniu, że rozszyfrowana funkcja jest istotnie tą, która odpowiada wymaganiom sterowanego urządzenia. Jeżeli jednak wyników analizy nie można skonfrontować z założeniami do układu sterowania, to nie można również przeprowadzić pełnej optymalizacji analizowanego układu, trudno bowiem wtedy wprowadzać na przykład uproszczenia kosztem drobnych nawet zmian funkcji przetwarzania sygnałów.

Inaczej dzieje się w przypadku syntezy. Punktem wyjściowym jest szczegółowe ustalenie wymagań stawianych układowi, a więc zadysponowanie programu jego pracy. W przypadku zaprojektowania układu metodą intuicyjną analiza matematyczna da bezbłędną odpowiedź na postawione wyżej pytania 2), 3) i 4), ponieważ stawiane układowi wymagania są dokładnie znane. Przy bardziej jednak rozbudowanych układach projektowanie intuicyjne prowadzi zwykle do układów nadmiernie rozbudowanych, co z kolei utrudnia przeprowadzenie analizy z uwagi na znaczną ilość zmiennych występujących w wyrażeniach strukturalnych układu.

Ponieważ metoda syntezy *Huffmana* prowadzi — jedynie w odwrotnym porządku — przez te same etapy co analiza, wynikiem jej jest układ odpowiadający założeniom i wolny od błędów, omówionych w poprzednim rozdziale (hazard, wyścig krytyczny, itp.).

1. Technika syntezy metodą *Huffmana*

Projektowanie układu rozpoczyna się zawsze od rozłożenia problemu automatycznego sterowania maszyny na szereg prostych zagadnień, obejmujących możliwie małą liczbę sygnałów wejściowych i wyjściowych. Jeśli to możliwe, najlepiej rozpatrywać oddzielnie napęd każdego z mechanizmów obrabiarki.

Po wykonaniu tej wstępnej czynności przystępuje się do drugiego etapu projektowania, którym w metodzie *Huffmana* jest sporządzenie pełnej tabeli programu. Tabela taka jest zestawieniem wszystkich, przewidywanych dla danego obwodu stanów wejść oraz odpowiadających im stanów wyjść. Układ pełnej tabeli programu przypomina siatkę przejść tym, że różnym stanom wejść są podporządkowane kolumny tabeli, a takty ustalone są oznaczane w odpowiednich kolumnach numerami umieszczonymi w kółkach, takty przejściowe zaś — numerami najbliższych taktów ustalonych lecz nie umieszczonymi w kółku. Różni się ona natomiast od siatki przejść tym, że każdemu taktowi ustalonemu jest przeznaczony oddzielny wiersz tabeli, w ostatniej kolumnie którego wpisuje się stan wyjść przewidziany w danym takcie ustalonym. Wiersze pełnej tabeli programu nie są oznaczone symbolami zestyków przekaźników pośredniczących, ponieważ w tym etapie projektowania nie wiadomo jeszcze, ile takich przekaźników trzeba będzie zastosować w układzie.

Wychodząc z ustalonej pełnej tabeli programu sporządza się zredukowaną tabelę programu, w której takty ustalone będą już przeważnie występowały po dwa i więcej w jednym wierszu. Ponieważ różnym taktom ustalonym jednego wiersza mogą odpowiadać różne stany wyjść, w zredukowanej tabeli programu nie ma już kolumny ze stanami wyjść.

Następny etap projektowania polega na rozmieszczeniu wierszy zredukowanej tabeli programu w wierszach siatki przejść, odpowiadającej możliwie małej liczbie przekaźników pośredniczących.

Z kolei sporządza się siatkę wyjść, podobnie jak na rys. 118c. Pola tej siatki wypełnia się na podstawie zapisu stanu wyjść, odpowiadającego każdemu taktowi ustalonemu, a podanego w ostatniej kolumnie pełnej tabeli programu.

Podany wyżej opis postępowania przy syntezie metodą *Huffmana* zostanie omówiony szczegółowiej na przykładzie syntezy układu z rozdziału czwartego (rys. 44).

1.1. Opracowanie pełnej tabeli programu

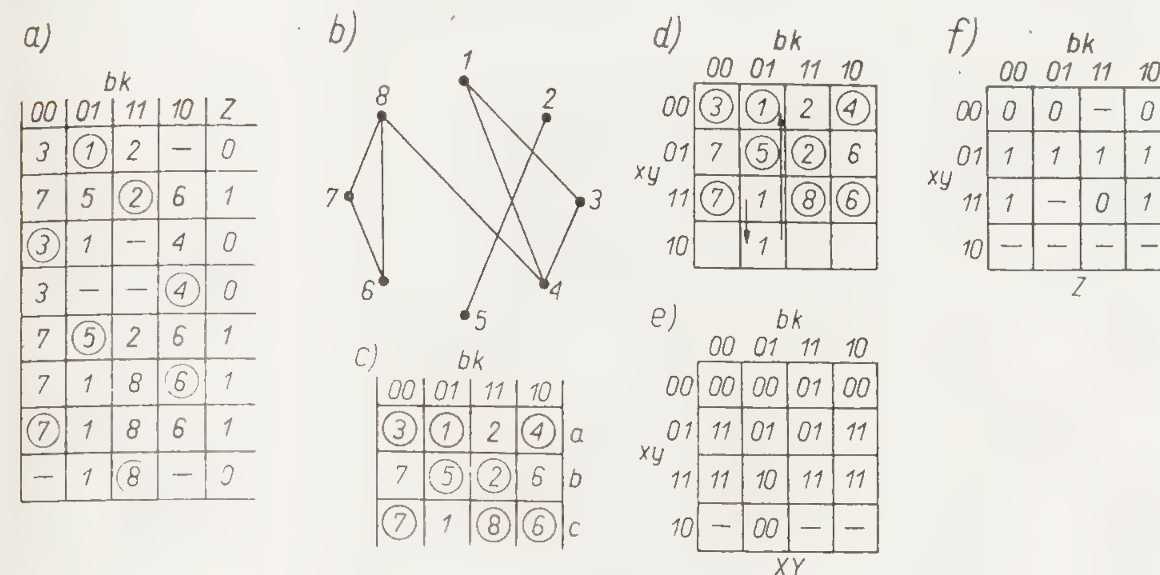
Oznaczmy w rozpatrywanym przykładzie (rys. 44) przycisk uruchamiający napęd stołu obrotowego przez *B*, łącznik drogowy naciśnięty w wyjściowym położeniu stołu — przez *K*, silnik napędowy — przez *M*. Do warunków ustalonych dla tego układu w rozdziale czwartym zostały dodane jeszcze dwa, a mianowicie, że naciśnięcie przycisku *B* nie powinno powodować uruchomienia napędu stołu, jeśli nie znajduje się on w położeniu wyjściowym (gdy $K = 0$), oraz że wyłączenie napędu przez łącznik *K* powinno nastąpić również wtedy, gdy przycisk *B* jest w tym momencie naciśnięty.

Ponieważ w projektowanym układzie występują dwa sygnały wejściowe *b* i *k*, tabela programu będzie miała cztery kolumny dla stanów wejść *bk* tj. 00, 01, 11 i 10 oraz piątą kolumnę dla stanów wyjść *Z* (rys. 130a).

Takt ustalony przed uruchomieniem napędu stołu oznaczono przez ① i wpisano go w pierwszym wierszu tabeli w kolumnie 01, ponieważ w tej sytuacji przycisk *B* nie jest jeszcze naciśnięty, natomiast łącznik *K* — jest naciśnięty.

Ponieważ w takcie ① napęd nie jest uruchomiony, w kolumnie stanów wyjść (kolumnie *Z*) w wierszu pierwszym należy wpisać stan 0.

Naciśnięcie przycisku *B* notuje się w kolumnie *11* (łącznik *K* i przycisk *B* w stanie wymuszonym) jako takt przejściowy *2*, prowadzący do taktu ustalonego ② w drugim wierszu tabeli. Temu taktowi odpowiada już załączenie silnika, a więc w stanie wyjść dla taktu ② notuje się stan 1.



Rys. 130. Kolejne etapy syntezy układu metodą *Huffmana*: a) pełna tabela programu; b) wykres redukcyjny; c) zredukowana tabela programu; d) siatka przejść; e) siatka stanów wzbudzenia; f) siatka wyjść

Przed naciśnięciem przycisku *B* napęd stołu nie może być załączony, a więc stan wejść 01 nie powinien ulec zmianie na 00, jeżeli jednak istnieje możliwość ręcznego obrotu stołu, to wtedy stan wejść może się zmienić również z 01 na 00. W tabeli programu należy więc zanotować, że taka zmiana stanu wejść nie może spowodować załączenia silnika napędu stołu. Wobec tego należy wpisać w kolumnie 00 w pierwszym wierszu takt przejściowy *3*, a w wierszu trzecim — takt ustalony ③, podczas którego silnik pozostaje nie załączony (w kolumnie *Z* piszemy 0).

Czwartego pola w pierwszym wierszu nie wypełniamy (wpiszemy kreskę), ponieważ równoczesne naciśnięcie przycisku *B* i zwolnienie łącznika *K* nie jest, praktycznie biorąc, możliwe.

Zanim przejdziemy do omówienia wierszy z taktami ustalonymi, odpowiadającymi załączonemu silnikowi, sprawdźmy jeszcze, jakie mogą być przejścia z taktu ③ do innych taktów ustalonych.

Jeżeli w tej sytuacji zostanie naciśnięty przycisk *B*, to układ przejdzie do taktu ④, w którym według założeń — silnik nie powinien zostać załączony. W kolumnie *Z* wiersza ④ należy więc wpisać 0. Zwolnienie przycisku w takcie ④, a więc powrót do kolumny *00* również nie powinno wprowadzić żadnych zmian do układu, który po prostu powróci do taktu ③. W kolumnie *00* czwartego wiersza wpisuje się zatem takt przejściowy *3*.

Z taktu ③ można jeszcze przejść do kolumny *01* przez ręczne sprowadzenie stołu do położenia wyjściowego. W kolumnie *01* wpisuje się więc takt przejściowy *1*. Równoczesnej zmiany stanu sygnałów *bk* z 00 na 11 nie bierzemy pod uwagę, w kolumnie 11 wpisano zatem kreskę.

Wracamy teraz do taktu ustalonego ② (przycisk *B* i łącznik *K* jeszcze naciśnięte, napęd stołu załączony). Rozpatrując możliwe zmiany stanu wejść nie będziemy na razie brali pod uwagę jednoczesnej zmiany dwóch sygnałów, zostawiając rozpatrzenie tej ewentualności na zakończenie wypełniania tabeli programu. Stosownie do tego zastrzeżenia w takcie ② można albo zmienić wartość sygnału *b*, albo sygnału *k* — w obu przypadkach z 1 na 0. Pierwszy przypadek odpowiada sytuacji, gdy zwolniono przycisk *B*, zanim łącznik *K* powrócił do położenia spoczynkowego, co prowadzi do nowego taktu ustalonego, który oznaczono kolejnym numerem ⑤. Drugi przypadek występuje, gdy łącznik *K* powrócił już do położenia spoczynkowego, a przycisk *B* wciąż jeszcze jest naciśnięty. Odpowiadający tej sytuacji nowy takt ustalony oznaczono przez ⑥.

W obu przypadkach silnik pozostaje załączony, a więc w piątym i szóstym wierszu w kolumnie *Z* należy zanotować stan *1*.

Jeżeli w takcie ⑤ po zwolnieniu przycisku *B* zostanie on naciśnięty powtórnie, zanim łącznik *K* przejdzie do stanu 0, to układ wróci po prostu do taktu ②. W trzeciej kolumnie piątego wiersza należy zatem wpisać takt przejściowy *2*.

Najprawdopodobniej jednak w takcie ⑤ przycisk nie będzie naciskany, stan wejść zmieni się więc sam z 01 na 00 (zwolnienie łącznika *K*), a takt ⑤ na takt ⑦, w którym stan wyjść pozostaje wciąż równy 1.

W takcie ⑥ można zwolnić przycisk, na skutek czego przechodzimy z kolumny *10* do *00*, silnik pozostaje załączony, a więc sytuacja jest identyczna, jak w przypadku przejścia do kolumny *00* ze stanu ⑤. Wnioskujemy stąd, że w kolumnie *00* wiersza szóstego należy również wpisać takt przejściowy *7*.

Jeżeli jednak w takcie ⑥ przycisk *B* będzie wciąż trzymany w stanie naciśniętym, to w pewnym momencie zderzak dojdzie powtórnie do łącznika *K*, w tabeli programu zmienia się więc kolumna *10* na *11*, a takt ⑥ na takt ⑧. Ponieważ zostało założone, że wyłączenie napędu przez łącznik *K* powinno nastąpić bez względu na to, czy przycisk *B* jest zwolniony, czy naciśnięty, w kolumnie stanów wyjść wiersza ósmego wpisuje się stan 0.

Takt ⑦ może zmienić się przez przejście stanu wejść z kolumny *00* do kolumny *01*, albo do kolumny *10*. Pierwszy przypadek odpowiada dojściu zderzaka do łącznika *K*, co powinno wyłączyć napęd, zatrzymując stół w położeniu wyjściowym, a więc zmienić takt ⑦ na ①.

Drugi przypadek odpowiada sytuacji, gdy przed dojściem zderzaka do łącznika *K* został naciśnięty powtórnie przycisk *B*. Nie powinno to w niczym zakłócić przebiegu sterowania, odszukujemy w kolumnie *10* takt ustalony ze stanem wyjść równym *1* — jest nim takt ⑥. W siódmym wierszu, w kolumnie *10* należy zatem wpisać takt przejściowy *6*.

W takcie ⑧ napęd jest wyłączony, przycisk *B* i łącznik *K* — naciśnięte. W takiej sytuacji jedyną możliwą zmianą stanu wejść jest zwolnienie przycisku *B*. Przenosi to układ do kolumny *01* i do sytuacji wyjściowej, a więc do taktu ①.

Na zakończenie sprawdzimy jeszcze możliwość przejścia z jednego taktu ustalonego do drugiego, leżącego w nie sąsiedniej kolumnie.

W wierszu drugim takie przejście prowadzi z kolumny *11* do *00*. Jest ono możliwe, odpowiada bowiem sytuacji, gdy przycisk *B* zostanie zwolniony przypadkowo w tym samym momencie, w którym łącznik *K* wraca do stanu spoczynkowego. Nie powinno jednak zmienić stanu wyjść (silnik w dalszym ciągu załączony), a więc powinno doprowadzić do taktu ⑦. W pierwszym polu drugiego wiersza wpiszemy zatem takt przejściowy *7*.

Mniej prawdopodobne, lecz również możliwe są przejścia do nie sąsiedniej kolumny w taktach ustalonych ⑤, ⑥ i ⑦. Przeprowadzenie rozumowania jak wyżej, prowadzi do wniosku, że w kolumnie *10* wiersza piątego trzeba wpisać

takt przejściowy *6*, a kolumnie drugiej wiersza szóstego — takt *1*. Wreszcie w trzeciej kolumnie wiersza siódmego należy wpisać takt *8*. W ten sposób zakończyliśmy wypełnianie pełnej tabeli programu.

1.2. Sporządzenie zredukowanej tabeli programu

Oznaczanie taktów kolejnymi numerami ustalonych — w kółku, przejściowych — bez kółka omówiono już w poprzednim rozdziale, z tą jednak różnicą, że występowały one nie w tabeli programu, lecz w siatkach przejść, przy czym zwykle w jednym wierszu siatki znajdował się więcej niż jeden takt ustalony. Tabelę programu, w której wierszach występują po dwa i więcej takty ustalone, nazywa się z r e d u k o w a n ą t a b e l ą p r o g r a m u. Umożliwia ona odwzorowanie programu sterowania w siatce *Karnaugha* o mniejszej liczbie wierszy, a więc zwykle również wykonanie układu przy użyciu mniejszej liczby przekaźników.

Redukcję pełnej tabeli programu przeprowadza się łącząc odpowiednie wiersze w jeden. Dwa wiersze można połączyć w jeden, jeżeli w odpowiednich polach tych wierszy występują albo takie same numery, albo — w jednym dowolny numer, a w drugim kreska, albo wreszcie — w obu odpowiednich polach dwóch wierszy znajdują się kreski.

Jeżeli jeden z numerów oznacza takt ustalony, to w zredukowanej tabeli programu wpisuje się również takt ustalony. Jeżeli w obu odpowiednich polach znajdują się kreski — wpisuje się również kreskę.

Uważny przegląd pełnej tabeli programu (rys. 130a) pozwala na wykrycie par wierszy, które można w ten sposób połączyć ze sobą — np. wiersz pierwszy i trzeci, drugi i piąty itd.

Niejednokrotnie można nie tylko dwa, lecz kilka wierszy pełnej tabeli programu połączyć w jeden wiersz tabeli zredukowanej. Przed przeprowadzeniem takiej redukcji trzeba się jednak upewnić, czy każdy z tych wierszy odpowiada podanym wyżej warunkom połączenia go z pozostałymi wierszami łączonymi w jeden wspólny. Sprawdzenie takie jest uciążliwe, dlatego też przeprowadzamy je posługując się tak zwanym wykresem redukcyjnym, który sporządza się w następujący sposób (rys. 130b).

Na obwodzie koła (samego okręgu koła nie rysuje się) rozmieszcza się tyle punktów ponumerowanych kolejno, ile wierszy (czyli taktów ustalonych) zawiera pełna tabela programu. Następnie sprawdzamy parami, które wiersze pełnej tabeli można połączyć w jeden. Punkty wykresu, odpowiadające takim parom, łączy się ze sobą linią. Ze względów porządkowych sprawdzanie rozpoczyna się od pierwszego wiersza tabeli, porównując jego wypełnienie kolejno z wierszem drugim, trzecim itd. Następnie sprawdzamy możliwość połączenia wiersza drugiego z wierszami trzecim, czwartym itd. Czynność tę powtarza się, aż do porównania przedostatniego wiersza pełnej tabeli programu z jej wierszem ostatnim.

Prowadząc takie sprawdzenie dla tabeli na rys. 130a stwierdzamy, że wiersza ① nie można połączyć z wierszem ②, ponieważ w pierwszych dwóch polach tych wierszy występują różne numery. Można go natomiast połączyć z wierszem ③ i z wierszem ④. Na wykresie redukcyjnym łączymy więc punkty *1* i *3* oraz *1* i *4*. Kontynuując porównywanie wiersza ① z następnymi wierszami widać, że nie może on być połączony z żadnym z następnych wierszy. Rozpatrujmy więc wiersz ②, który można połączyć jedynie z wierszem ⑤.

Wiersz ③ daje się połączyć z sąsiednim wierszem ④ (nie porównujemy wiersza ③ z leżącymi ponad nim, bo to zostało już przeprowadzone przy sprawdzaniu wierszy ① i ②.

Wiersz ④ łączy się tylko z wierszem ⑧; wiersz ⑤ — z żadnym spośród leżących poniżej; wiersz ⑥ — z ⑦ i z ⑧; wiersz ⑦ — z ⑧.

W rezultacie tej pracy otrzymaliśmy wykres redukcyjny (rys. 138b). Wskazuje on wyraźnie, że w jeden wspólny wiersz można połączyć nie tylko pary, omówione wyżej, lecz również trójki wierszy pełnej tabeli programu, te których połączenia na wykresie tworzą pełne trójkąty, a więc: ① - ③ - ④ i ⑥ - ⑦ - ⑧. Cztery lub więcej wierszy pełnej tabeli programu tylko wtedy można połączyć w jeden wiersz tabeli zredukowanej, gdy linie łączące na wykresie redukcyjnym odpowiednie punkty tworzą wieloboki (czworo-pięcio-boki itd.) ze wszystkimi przekątnymi.

Zredukowanie pełnej tabeli programu ma zasadniczo na celu takie zmniejszenie liczby jej wierszy, by pozwoliło to na zmniejszenie liczby przekaźników pośredniczących. Pełna tabela programu (rys. 130a) zawiera osiem wierszy, tyleż więc wierszy miałaby opracowana na jej podstawie siatka przejść i stanów; trzeba by zatem użyć trzech przekaźników pośredniczących. Wykres redukcyjny pozwala liczbę wierszy zmniejszyć do trzech, a więc liczbę przekaźników pomocniczych — do dwóch. Siatka przejść dla dwóch przekaźników będzie miała cztery wiersze, można by więc nie wykorzystywać w pełni redukcji wskazanej przez wykres, jednakże w pierwszym wariancie zostanie sporządzona trójwierszowa zredukowana tabela programu.

W pierwszym wierszu tabeli (rys. 130c) umieszczono takty ustalone ①, ③ i ④, wpisując je w tych samych kolumnach, w jakich występowały w pełnej tabeli programu. W wierszu ① pełnej tabeli w kolumnie *11* znajdujemy takt przejściowy *2*; w wierszach ③ i ④, w tej samej kolumnie znajdują się kreski (stan obojętny), więc w pierwszym wierszu tabeli zredukowanej wpisano w kolumnie *11* takt przejściowy *2*.

Wypełnienie następnych wierszy zredukowanej tabeli programu nie wymaga już wyjaśnień. Wiersze tej tabeli oznaczono dla wygody literami *a*, *b*, *c*.

1.3. Przejście ze zredukowanej tabeli programu do siatki przejść

Wiersze zredukowanej tabeli programu przenosi się w całości do wierszy siatki przejść. Jednakże przydzielenie wierszom tabeli odpowiednich wierszy siatki nie jest sprawą obojętną, a czasem może nawet nastręczać poważne trudności. Przy rozmieszczaniu wierszy tabeli należy się bowiem upewnić, czy będą mogły być zrealizowane przejścia między taktami ustalonymi, mieszczącymi się w różnych wierszach.

W przypadku omawianego przykładu (rys. 130) nie napotykamy na żadne trudności, ponieważ należy jedynie według informacji zawartych w zredukowanej tabeli programu zapewnić przejście z wiersza *a* do *b* (takt ②), z wiersza *b* do *c* (takt ⑥) i z wiersza *c* do *a* (takt ①). Pierwszy wiersz zredukowanej tabeli programu, zawierający takt ustalony odpowiadający sytuacji wyjściowej, umieszczamy z reguły w pierwszym wierszu siatki przejść (rys. 130d). Umieśćmy pozostałe wiersze tabeli w takiej samej kolejności w wierszach siatki, a więc wiersz *b* — w wierszu *01*, wiersz *c* w wierszu *11*.

Wspomniane wyżej przejścia z wiersza *a* do *b* i z *b* do *c* dotyczą obecnie sąsiednich wierszy siatki, przejścia te nie sprawiają więc żadnej trudności. Natomiast przejście z wiersza *c* do *a* odpowiada w siatce przejściu z wiersza 11 do nie sąsiedniego wiersza *00*. Gdyby więc w tym polu trzeciego wiersza siatki, w którym znajduje się takt przejściowy *1*, wpisać od razu adres docelowy *00*, to wprowadzilibyśmy do układu wyścig, w dodatku wyścig krytyczny, ponieważ zmiana stanu 11 na 00 może prowadzić również przez 01, a w tym polu jest już takt ustalony ⑤. Wobec tego takt przejściowy *1* rozbija się na dwa, prowadząc przejścia z ⑦ do ① przez nie wykorzystany wiersz *10* siatki, jak to pokazano strzałkami na rys. 130d.

1.4. Sporządzenie siatki stanów i siatki wyjść

Z przejściem od siatki przejść do siatki stanów spotkaliśmy się już w poprzednim rozdziale. W polach siatki stanów (rys. 130e), odpowiadającym polom siatki przejść z taktami ustalonymi, wpisujemy oznaczenie odpowiedniego wiersza siatki, w polach z taktami przejściowymi — oznaczenia wierszy docelowych. Pamiętać należy o ominięciu wyścigu krytycznego w kolumnie 01. Pozostają nie wypełnione trzy pola w wierszu 10. Są to pola ze stanami obojętnymi, wpisuje się więc w nie kreski.

Aby ustalić wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia przekaźników *X* i *Y* siatkę stanów należy jeszcze przerysować na dwie oddzielne siatki wzbudzenia (stanów). Pozostawiamy to czytelnikowi. Przypominamy jednak, że aby wydzielić wspólny obwód obu przekaźników $(b+y)(k+y) = bk+y$ można skorzystać z wygodnego rozmieszczenia pól ze stanami 00. Po wyłączeniu tego obwodu uzyskuje się następujące wyrażenia strukturalne

$$X = (bk+y)(x+\bar{k}); \qquad Y = (bk+y)(\bar{x}+\bar{k}+b)$$

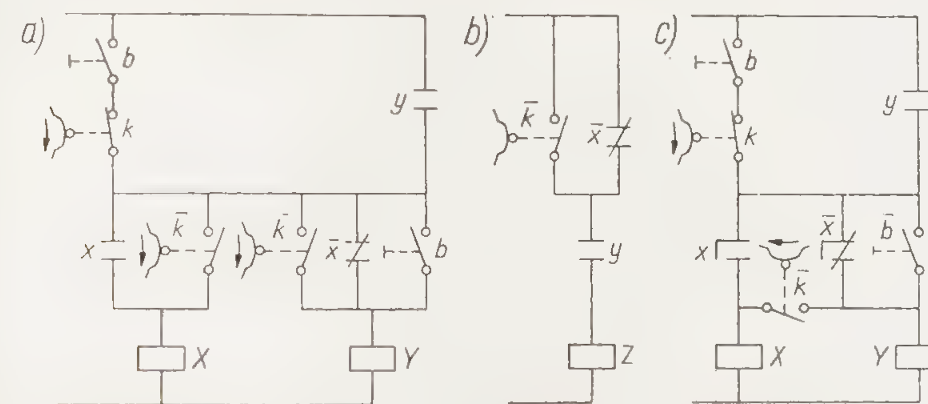
Umiemy już również wypełniać siatkę wyjść (rys. 130f) na podstawie siatki przejść (rys. 130d) i pełnej tabeli programu (rys. 130a). W każdym polu siatki wyjść, odpowiadającym polu siatki przejść z taktem ustalonym wpisuje się taki stan wyjść (stan silnika), jaki dla danego taktu jest zapisany w pełnej tabeli programu. Tak np. w skrajnych polach wiersza *11* (takty ⑥ i ⑦) wpisuje się stan 1, a w trzecim polu tego wiersza — stan 0, takie stany podaje bowiem dla wspomnianych taktów tabela na rys. 130a.

Z pełnej tabeli można również odczytać, że takt przejściowy *2* prowadzi od taktu ① z wyjściem 0 do taktu ② z wyjściem 1. Wiadomo już, że stan wyjść w takcie przejściowym jest w takiej sytuacji obojętny, więc w odpowiednim polu siatki wyjść wpisuje się kreskę. Podobnie obojętny jest stan wyjść w obu taktach przejściowych *1*. Natomiast w taktach przejściowych *6* i *7*, prowadzących od taktów ustalonych ② i ⑤ z wyjściem 1 (napęd załączony) do taktów ustalonych ⑥ i ⑦ również z wyjściem 1 musimy wpisać stan wyjść 1.

Na podstawie siatki wyjść ustalamy wyrażenie strukturalne obwodu *Z* (obwodu stycznika załączającego silnik napędu stołu)

$$Z = y(\bar{k}+\bar{x})$$

Z wyrażeń strukturalnych obwodów *X*, *Y* i *Z* można narysować ich schematy (rys. 131a i b). Element *Z* może w tym przypadku być albo stycznikiem załączającym silnik napędowy, albo — elektrozaworem. Ponieważ w opracowanym układzie nie występują zestyki elementu *Z*, a w obwodzie tego elementu są zes-



Rys. 131. Schematy obwodów: a) wzbudzenia przekaźników pośredniczących; b) wyjściowego

tyki przekaźników i łącznika drogowego, otrzymaliśmy układ z wyjściem przekaźnikowym.

W obwodach X, Y i Z występują cztery zestyki łącznika K. Realizacja takiego układu będzie wymagała prawdopodobnie zastosowania jeszcze jednego przekaźnika, który pozwoliłby zwiększyć liczbę sygnałów k. Prócz tego poprawna praca układu przedstawionego na rys. 131a wymaga, aby oba zestyki $\bar{k}$ zamykały się albo w ustalonej kolejności, albo jednocześnie. Jeżeli nie możemy zapewnić żądanej kolejności zamykania, najpierw zestyk $\bar{k}$ w obwodzie Y, a potem w obwodzie X, to różnica czasu zamknięcia powinna (w przypadku normalnych przekaźników) być mniejsza od 1 milisekundy. Żądaną kolejność może zapewnić mikrołącznik podwójny (rys. 38). Stosując zamiast dwóch mikrołączników jeden, którego zestyki powielane są przez dodatkowy przekaźnik pomocniczy, można przyjąć, że różnica w czasie zamykania dwóch zestyków tego przekaźnika będzie wystarczająco mała, by nie spowodować zakłóceń w pracy układu.

Struktura obwodów X i Y (rys. 131a) odpowiada strukturze, która omawiana była w rozdziale szóstym (rys. 87), a która umożliwia zredukowanie jednego zestyku $\bar{k}$ (rys. 131c). Redukcja taka wynika z zależności $x+\bar{k} = x+\bar{x}\bar{k}$, wprowadzającej do układu hazard przy zmianie stanu przekaźnika X. Ponieważ hazard ten występuje w obwodzie mostkowym, nie można go wyeliminować zmieniając strukturę obwodu, a jedynie stosując zestyki x i $\bar{x}$ z przełączaniem bezprzerwowym, co zaznaczono na schemacie.

1.5. Warianty zredukowanej tabeli programu

Czytelnik zauważył zapewne, że uzyskane rozwiązanie doprowadziło do nieco mniej prostego układu, niż układ otrzymany poprzednio metodą projektowania intuicyjnego (rys. 44h). Wynika to częściowo z uzupełnienia założeń warunkiem nie reagowania układu na sygnał startu, gdy stół nie znajduje się w położeniu wyjściowym (gdy $K = 0$). Warunek ten spowodował, że w obecnym rozwiązaniu z zestykiem b został połączony szeregowo zestyk k. Przyczyny pojawienia się w układzie sterowania innych, nie występujących w rozwiązaniu intuicyjnym zestyków, należy jednak szukać gdzie indziej.

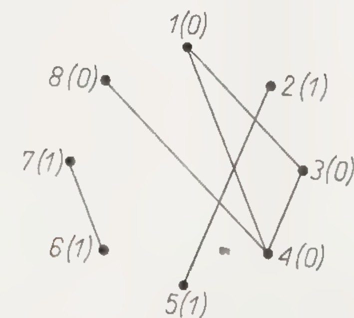
Poniżej omówiony zostanie wariant rozwiązania z tabelą programu zredukowaną do czterech wierszy, prowadzący do optymalnego obwodu sterowania. Zwrócimy jednocześnie uwagę na przesłanki, pozwalające niejednokrotnie przewidzieć, kiedy niepełne wykorzystanie możliwości zredukowania tabeli programu może doprowadzić do lepszego rozwiązania.

Najważniejszą korzyścią, jaką daje zredukowanie pełnej tabeli programu, jest zmniejszenie liczby przekaźników pośredniczących, niezbędnych do zrealizowania danego układu. W omawianym powyżej przykładzie (rys. 130) pełna tabela programu składa się z ośmiu wierszy. Zredukowanie tabeli programu do trzech wierszy pozwoliło na realizację układu przy użyciu tylko dwóch przekaźników. Tej samej liczby przekaźników będzie wymagał również układ, którego zredukowana tabela programu składa się z czterech wierszy.

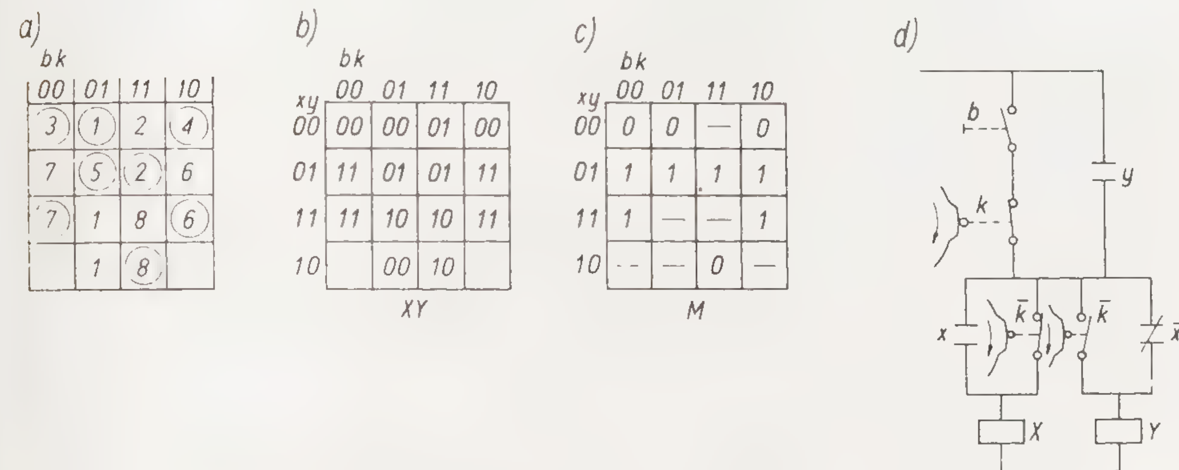
W rozwiązaniu przedstawionym na rys. 44h obwód wyjściowy jest zamykany i otwierany jednym tylko zestykiem s, odpowiadającym zestykowi y w schemacie na rys. 131b. Nie ma natomiast w obwodzie wyjściowym (rys. 44h) zestyków $\bar{k}$ i $\bar{x}$. Przyczyną pojawienia się tych zestyków w omawianym rozwiązaniu jest to, że redukując pełną tabelę programu do trzech wierszy (rys. 130c) umieszczono w trzecim wierszu takty ustalone, odpowiadające różnym stanom wyjść. Rozwiązanie takie zmusza oczywiście do dodatkowego stosowania zestyków aparatury sterującej w obwodach wyjściowych (zestyk k w obwodzie Z na rys. 131b)

a niejednokrotnie i zestyków przekaźników pośredniczących (zestyk $\bar{x}$ w tymże obwodzie). Zestyki te nie wystąpią w obwodach wyjściowych, jeżeli takty ustalone jednego wiersza zredukowanej tabeli programu będą odpowiadały temu samemu stanowi wyjść, a więc jeżeli we wszystkich polach będzie się powtarzał — poza polami ze stanem obojętnym — ten sam zapis stanu wyjść.

Aby uzyskać rozwiązanie, dające najprostszą postać obwodu wyjściowego Z, narysujemy jeszcze raz wykres redukcyjny, wpisując w nawiasach obok numerów wierszy stany wyjść w odpowiednich taktach ustalonych (rys. 132). Spostrzegamy, że trójkąt *1 - 3 - 4* obejmuje takty ze stanem wyjść równym *0*, linia *2 - 5* łączy takty ze stanem wyjść — 1, natomiast w trójkącie *6 - 7 - 8* występują dwa takty z wyjściem 1 i jeden takt z wyjściem 0. Aby uzyskać zredukowaną tabelę programu, której każdy wiersz obejmuje jedynie takty ustalone z jednakowymi stanami wyjść pominiemy na wykresie redukcyjnym połączenia między wierszami o różnych stanach wyjść (rys. 132), a więc połączenia między wierszem *8* i wierszami *6* i *7*.



Rys. 132. Wykres redukcyjny z ograniczeniem redukcji



Rys. 133. Synteza układu a) tabela programu, zredukowana na podstawie wykresu z rys. 132; b) siatka stanów; c) siatka wyjść; d) schemat

Na podstawie takiego wykresu sporządza się zredukowaną tabelę programu (rys. 133a), siatkę przejść (nie pokazaną na rysunku), a wreszcie siatkę stanów (rys. 133b) i siatkę wyjść (rys. 133c).

Siatka stanów po wydzieleniu wspólnej podgrupy zerowej $bk+y$ daje następujące wyrażenie stukturalne obwodów X i Y

$$X = (bk+y)\,(x+\bar{k}); \qquad Y = (bk+y)\,(\bar{x}+\bar{k})$$

Schemat tych obwodów podano na rys. 133d. Zestyki $\bar{k}$ w obwodach X i Y muszą spełniać te same warunki, które omówiono przy okazji schematów przedstawionych na rys. 44h i 131a.

Przy opracowywaniu pełnej tabeli programu nie brano pod uwagę innych łączników drogowych, poza łącznikiem K. Z rozważań przy okazji opracowywania schematu pokazanego na rys. 44h wiemy, że w obwodzie X można zamiast zestyku $\bar{k}$ zastosować zestyk innego dowolnego łącznika obrabiarki, spełniający warunek zamykania się po zamknięciu zestyku $\bar{k}$ w obwodzie Y i otwierania się przed, lub równocześnie z wyłączeniem napędu stołu.

Z siatki wyjść odczytujemy $Z = y$, a ponieważ obwód Z jest obwodem jednotaktowym, można pominąć różnicę między y i Y, pisząc $Z = Y$. Zamiast przekaźnika Y można więc zastosować stycznik S, załączający napęd stołu. Otrzymamy wtedy układ analogiczny do układu przedstawionego na rys. 44h.

Ten drugi wariant układu daje poza tym w porównaniu z wariantem pierwszym uproszczenie obwodu przekaźnika Y o jeden zestyk przycisku B. Uproszczenie to wypływa z faktu, że w siatce stanów na rys. 133b w wierszu *11* rozmieszczenie stanów wzbudzenia jest bardziej symetryczne względem linii środkowej, niż w siatce przedstawionej na rys. 130e. Jednakże między taką symetrią, a przyjętą w drugim wariancie zasadą nie łączenia w jednym wierszu zredukowanej tabeli programu taktów ustalonych o różnych stanach wyjść — nie ma żadnego bezpośredniego związku. Uproszczenie obwodu przekaźnika Y przy okazji poszukiwania rozwiązania prowadzącego do optymalnej postaci obwodu wyjściowego Z było kwestią przypadku. Następny przykład w tym rozdziale wykaże, że uproszczenie obwodów wyjściowych może prowadzić do skomplikowania obwodów pośredniczących.

Szczegółowe przeanalizowanie dwóch wariantów rozwiązania układu (rys. 131 i 133d) pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków o charakterze ogólnym:

1) Stawianie układowi dodatkowych wymagań, które powinien spełniać, prowadzi oczywiście do jego rozbudowy, a tym samym zmniejsza niezawodność pracy układu. Należy więc dodatkowe wymagania ograniczać do minimum, uzasadnionego względami wydajności pracy obrabiarki oraz prostoty i bezpieczeństwa obsługi.

2) Ograniczenie redukcji pełnej tabeli programu do tabeli, w której nie występują różne stany wyjść w jednym wierszu, prowadzi zawsze do uproszczenia obwodów wyjściowych. Jeżeli rozwiązanie takie nie wymaga zwiększenia liczby przekaźników pośredniczących, należy opracować odpowiedni wariant rozwiązania i porównać z wariantem wynikającym z maksymalnej redukcji tabeli programu, celem sprawdzenia czy uproszczenie obwodów wyjściowych nie odbiło się ujemnie na strukturze obwodów pośredniczących.

2. Szczególne przypadki syntezy metodą *Huffmana*

2.1. Dwuetapowe wypełnianie tabeli programu

W omówionym wyżej przykładzie opracowywano pełną tabelę programu wychodząc z taktu spoczynkowego ①. Braliśmy przy tym pod uwagę wszystkie możliwe przejścia z tego taktu do taktów następnych, po czym powtarzaliśmy analizowanie przejść kolejno z taktów ustalonych ②, ③ ... itd. Innymi słowy w rozumowaniu przechodziliśmy kolejno od jednego wiersza tabeli do drugiego.

Inny sposób opracowania pełnej tabeli programu polega na wypełnianiu jej kolumnami. W takim przypadku opracowanie dzieli się na dwa etapy: w pierwszym

w poszczególnych pozycjach każdej kolumny wpisuje się takty ustalone, które mogą odpowiadać stanowi wejść, reprezentowanemu przez daną kolumnę, wpisując jednocześnie w ostatniej kolumnie dla każdego taktu odpowiadający mu stan wyjść. Należy przy tym pamiętać, że różnym taktom jednej kolumny nie muszą odpowiadać różne stany wyjść — dwa takty tej samej kolumny mogą mieć jednakowe wyjścia, a jednocześnie być taktami różnymi (a więc opatrzonymi różnymi numerami). Ma to miejsce wtedy, gdy dalsze przebiegi sterowania, wychodzące z tych taktów są odmienne, to znaczy kończą się w którymkolwiek z następnych taktów ustalonych z innym stanem wyjść. Przykład takich taktów znajduje się w tabeli programu przedstawionego na rys. 143a, w której taktom ⑤ i ⑧ odpowiadają te same stany wejść 000 i wyjść 1. Nie są to jednak takty jednakowe, ponieważ zmiana stanu wejść na 001 powoduje przejście z taktu ⑤ do taktu ④ z wyjściem 1, z taktu zaś ⑧ do taktu ① z wyjściem 0.

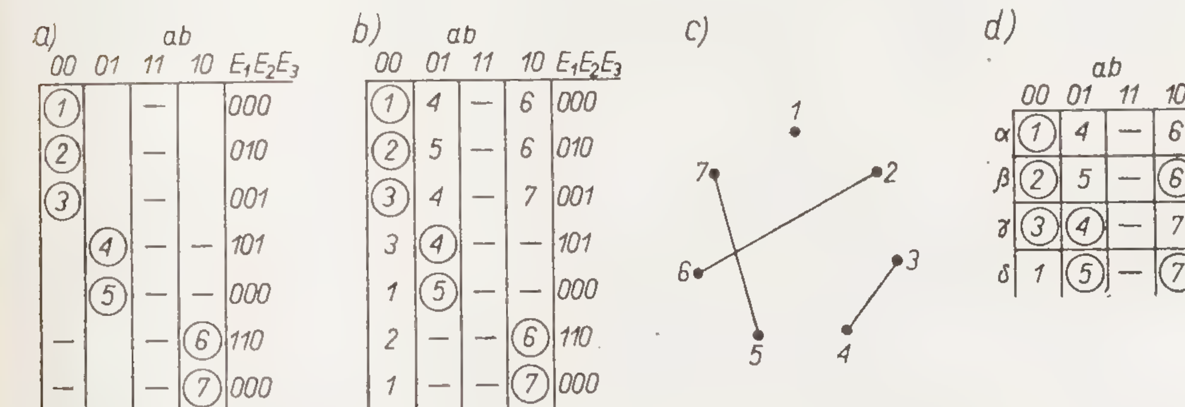
W drugim etapie opracowywania pełnej tabeli programu wpisuje się numery taktów przejściowych.

Z wypełnianiem dwuetapowym tabeli programu zapoznamy się przy syntezie układu sterowania, spełniającego następujące warunki.

Sterowany zespół obrabiarki może się przesuwać w lewo i w prawo, w każdym zwrocie z dwiema prędkościami odpowiadającymi szybkiemu posuwowi i posuwowi roboczemu. Wzbudzenie elektrozaworu E_1 daje posuw szybki w prawo, jeśli jednocześnie zostaje wzbudzony elektrozawór E_2, szybki w lewo — jeśli E_3. Wzbudzenie tylko elektrozaworu E_2 lub E_3 daje posuw roboczy w odpowiednim zwrocie.

Omówione posuwy są sterowane dwoma przyciskami: A i B. Gdy zespół znajduje się w stanie spoczynku, naciśnięcie przycisku A uruchamia szybki posuw w prawo; zwolnienie przycisku A powoduje przełączenie posuwu na roboczy w tym samym zwrocie. Naciśnięcie przycisku B, gdy zespół przesuwa się w prawo posuwem roboczym, powoduje wyłączenie napędu. Naciśnięcie przycisku B, gdy zespół był w spoczynku, powoduje załączenie szybkiego posuwu w lewo, zwolnienie przycisku B — przełączenie na posuw roboczy w lewo. Naciśnięcie w takiej sytuacji przycisku A — wyłącza napęd.

Przystępujemy do pierwszego etapu wypełniania tabeli programu (rys. 134a), w której wyjścia oznaczymy literowymi symbolami elektrozaworów E_1, E_2, E_3.



a)

00	01	11	10	$E_1E_2E_3$
①		—		000
②		—		010
③		—		001
	④	—	—	101
	⑤	—	—	000
—		—	⑥	110
—		—	⑦	000

b)

00	01	11	10	$E_1E_2E_3$
①	4	—	6	000
②	5	—	6	010
③	4	—	7	001
3	④	—	—	101
1	⑤	—	—	000
2	—	—	⑥	110
1	—	—	⑦	000

d)

	00	01	11	10
α	①	4	—	6
β	②	5	—	⑥
γ	③	④	—	7
δ	1	⑤	—	⑦

Rys. 134. Dwuetapowe wypełnianie tabeli programu: a) etap pierwszy; b) etap drugi; c) wykres redukcyjny; d) zredukowana tabela programu

Wypełnianie rozpoczyna się od kolumny *00*. Temu stanowi wejść (żaden przycisk nie naciśnięty) mogą odpowiadać trzy różne stany wyjść, a więc tym bardziej trzy różne takty ustalone: takt ① — spoczynek ($E_1\,E_2\,E_3 \equiv 000$); takt② —

posuw roboczy w prawo ($E_1 E_2 E_3 \equiv 010$) i takt ③ — posuw roboczy w lewo ($E_1 E_2 E_3 \equiv 001$).

W drugiej kolumnie tabeli (naciśnięty przycisk B) mogą występować dwa takty ustalone: ④, odpowiadający szybkiemu posuwowi w lewo ($E_1 E_2 E_3 \equiv 101$) i ⑤, odpowiadający zatrzymaniu posuwu w prawo ($E_1 E_2 E_3 \equiv 000$).

Podobnie dwa takty ustalone będą w kolumnie czwartej: ⑥ ($E_1 E_2 E_3 \equiv 110$) i ⑦ ($E_1 E_2 E_3 \equiv 000$).

Stanu wejść, reprezentowanego przez trzecią kolumnę (oba przyciski naciśnięte) nie bierzemy pod uwagę, we wszystkich pozycjach tej kolumny wpisano więc kreski. Nie bierzemy też pod uwagę przejść do kolumn nie sąsiednich, dlatego wpisano kreski w wierszach ④ i ⑤ w czwartej kolumnie, a w wierszach ⑥ i ⑦ — w pierwszej kolumnie.

Zakończony pierwszy etap odpowiada tabeli wypełnionej, jak na rys. 134a. Drugi etap polega na uzupełnieniu tabeli taktami przejściowymi. W omawianym przykładzie, dla zwiększenia przejrzystości, uzupełnienie tablic pokazano w oddzielnej tabeli (rys. 134b).

Takt ① jest taktem spoczynku. Naciśnięcie w takiej sytuacji przycisku A załącza E_1 i E_2 (szybko w prawo), a więc prowadzi do taktu ⑥. W pierwszym wierszu kolumny *10* wpisuje się więc takt przejściowy *6*. Podobnie w pierwszym wierszu kolumny 01 wpisano takt przejściowy *4*.

Takt ② odpowiada posuwowi roboczemu w prawo. Naciśnięcie w takiej sytuacji przycisku A spowoduje zmianę posuwu na szybki (dodatkowe załączenie E_1), naciśnięcie przycisku B — wyłączenie napędu. A więc w drugim wierszu należy wpisać takty przejściowe *5* — w kolumnie *01* i *6* — w kolumnie *10*. W analogiczny sposób dochodzimy do wniosku, że w trzecim wierszu należy wpisać *4* i *7*.

Z kolumn *01* i *10* możemy przejść jedynie do kolumny *00* (zwolnienie przycisku). Jeżeli przy naciśniętym przycisku miał miejsce szybki posuw, to zmieni się ona teraz na roboczy, a więc z taktu ④ przechodzimy do ③, z taktu zaś ⑥ — do ②. Jeżeli naciśnięcie przycisku spowodowało wyłączenie posuwu, to zwolnienie przycisku nie spowoduje dalszych zmian w stanie wyjść. W wierszach ⑤ i ⑦ pierwszej kolumny wpisano więc takt przejściowy *1*, prowadzący do taktu spoczynkowego ①.

Z kolei sporządza się wykres redukcyjny (rys. 134c). Z wykresu tego wynika że w wierszu z taktem ① nie można umieścić innego taktu ustalonego, a pozostałe sześć taktów ustalonych można łączyć jedynie po dwa w jednym wierszu. Zredukowana tabela programu będzie więc zawierała cztery wiersze (rys. 134d).

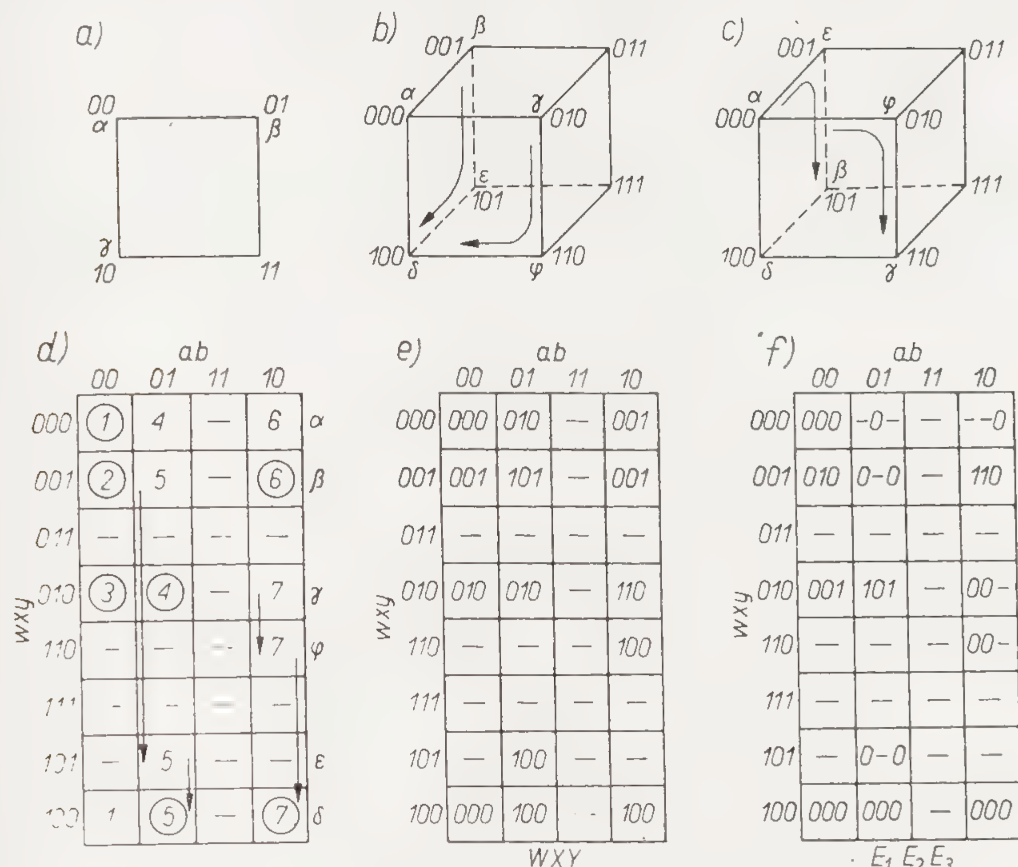
2.2. Wprowadzanie dodatkowego przekaźnika pomocniczego

Zredukowanie pełnej tabeli programu do tabeli czterowierszowej pozwala sądzić, że na podstawie tej ostatniej będzie można ułożyć siatkę przejść, złożoną również z czterech wierszy, a więc obejmującą dwa przekaźniki pośredniczące.

Wiersze zredukowanej tabeli programu oznaczamy na marginesie literami: α, β, γ, δ. Z rozmieszczenia taktów przejściowych i taktów ustalonych wynika, że w siatce przejść należy zapewnić możliwość przejść między wierszem α a pozostałymi trzema: wierszem γ w kolumnie *01*, wierszem β w kolumnie *10* i wreszcie wierszem δ w kolumnie *00*. Kolumna *11* nie jest wykorzystywana.

Możliwości przejść między wierszami można łatwo prześledzić posługując się odwzorowaniem (rys. 135a). Naroża kwadratu odpowiadają czterem wierszom siatki *Karnaugha* dla dwóch przekaźników pomocniczych. Boki kwadratu — możliwym przejściom między sąsiednimi wierszami siatki.

Narożu 00 przydziela się, jak zwykle, pierwszy wiersz α z taktem spoczynkowym. Umieśćmy wiersz β w narożu 01. W narożu 10 umieścimy wiersz γ ma on bezpośrednie połączenie z wierszem α, nie ma zaś — z wierszem β. Odpowiada to wymaganiom podyktowanym przez zredukowaną tabelę programu. Po



Rys. 135. Rozmieszczenie wierszy zredukowanej tabeli programu w wierszach siatki przejść: a) odwzorowanie wierszy w narożach kwadratu; b) i c) w narożach sześcianu; d) siatka przejść; e) siatka stanów; f) siatka wyjść

rozdzieleniu jednak w ten sposób wierszy α, β i γ dla wiersza δ pozostanie jedynie naroże 11, nie mające bezpośredniego połączenia z narożem 00 (z wierszem α), połączenia zaś pośrednie (przez naroża 01 lub 10) są zagrodzone, ponieważ naroża te są już zajęte przez wiersze β i γ tabeli, w dodatku w kolumnie *00*, w której ma miejsce przejście z wiersza δ do α są zajęte pola wierszy β i γ.

Chociaż więc zredukowana tabela programu (rys. 134d) ma tylko cztery wiersze, wymagają one siatki przejść trójprzekaźnikowej, a więc ośmiowierszowej. Rozmieszczenie wierszy ułatwi odwzorowanie stanów przekaźników WXY w narożach sześcianu (rys. 135b i c). Na rys. 135b wierszowi α przydzielono ze zrozumiałych względów (wszystkie przekaźniki w stanie nie wzbudzonym) naroże 000, pozostałe wiersze (β, γ i δ) umieszczono w narożach 001, 010 i 100, sąsiadujących z narożem 000, a więc pozwalających na bezpośrednie przejście do nich z naroża α. Przejścia z naroży β i γ do naroża δ muszą wobec tego prowadzić przez naroża pośrednie ε i φ, jak to na odwzorowaniu zaznaczono strzałkami. Posługując się takim odwzorowaniem sporządzono ośmiowierszową (trójprzekaźnikową) siatkę przejść (rys. 135d), na marginesie której dla ułatwienia wpisano literowe oznaczenia wierszy, odpowiadające wykorzystanym narożom sześcianu (rys. 135b). Następnym z kolei etapem pracy będzie sporządzenie siatki stanów (rys. 135e) i siatki wyjść (rys. 135f).

Przy wypełnianiu taktów przejściowych w siatce wyjść przestrzegamy za-

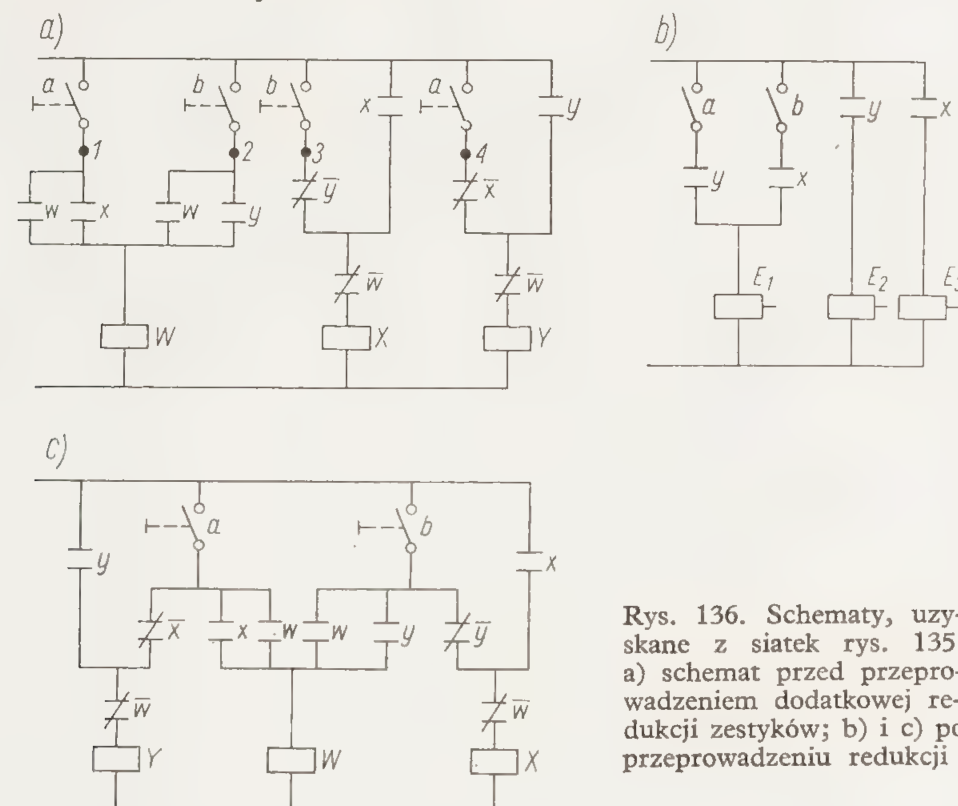
sady, wyjaśnionej przy okazji siatki rys. 130f: jeżeli stan określonego wyjścia jest różny w dwóch sąsiednich taktach ustalonych, to zmiana może nastąpić albo w takcie pośrednim, albo dopiero ustalonym (w takcie pośrednim wpisujemy wtedy kreskę), jeżeli zaś stan danego wyjścia jest jednakowy w obu sąsiednich taktach ustalonych, to i w takcie przejściowym musi być taki sam.

Na podstawie siatki stanów (rys. 135e) można ustalić wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia przekaźników W, X i Y

$$W = a(x+w)+b(y+w); \qquad X = \bar{w}(b\bar{y}+x); \qquad Y = \bar{w}(a\bar{x}+y)$$

na podstawie których rysuje się pierwszą wersję schematu układu (rys. 136a).

Na podstawie siatki wyjść (rys. 135f) otrzymuje się następujące wyrażenia strukturalne obwodów wyjściowych $E_1 = ay+bx$; $E_2 = y$; $E_3 = x$, których schemat przedstawiono na rys. 136b.



Rys. 136. Schematy, uzyskane z siatek rys. 135: a) schemat przed przeprowadzeniem dodatkowej redukcji zestyków; b) i c) po przeprowadzeniu redukcji

Realizacja układu według schematów z rys. 136a i b wymaga zastosowania przycisków A i B, z których każdy byłby wyposażony w trzy zestyki zwierne. Rozwiązania takiego należy unikać. Spróbujemy więc zmniejszyć liczbę zestyków tych przycisków, łącząc na schemacie 136a przewody *1* i *4* oraz *2* i *3*. Połączenie przewodów *1* i *4* wprowadza do obwodów W i Y dodatkowe, stale otwarte linie łączeń, zawierające iloczyn $x\bar{x}$.

Prócz tego do obwodu W omawiane połączenie wprowadza linię łączeń $w\bar{x}y$. Podobnie połączenie przewodów *2* i *3* wprowadza do obwodu X dwie stale otwarte linie łączeń: jedną z iloczynem $y\bar{y}$, drugą — $w\bar{w}$. Do obwodu W połączenie to wprowadza jednak obok stale otwartej linii łączeń $x\bar{y}y$ również linię łączeń $wx\bar{y}$.

Linie łączeń $w\bar{x}y$ i $wx\bar{y}$ odpowiadają wierszom *101* i *110* w siatce rys. 135e. W wierszach tych znajdujemy dla obwodu wzbudzenia W albo stan *1*, albo też stan obojętny, a więc oba połączenia przewodu *1* z *4* oraz *2* z *3* są dozwolone.

Po zredukowaniu w ten sposób liczby zestyków zwiernych a i b do dwóch otrzymuje się schemat obwodów sterowania, pokazany na rys. 136c.

2.3. Upraszczanie układów sterowania przy wykorzystaniu stanów obojętnych

Upraszczając schemat z rys. 136a do struktury pokazanej na rys. 136c wykorzystano fakt, że dodatkowa linia łączeń w obwodzie wzbudzenia przekaźnika W realizuje wyrażenie strukturalne $wx\bar{y}$, przybierające wartości 1 w tych polach siatki stanów, w których albo już występuje $W = 1$, albo też stan wzbudzenia W może być dowolny. Jest to równoznaczne ze stwierdzeniem, że linia łączeń nie powoduje zamknięcia obwodu wzbudzenia przekaźnika W wtedy, gdy według siatki stanów obwód ten powinien pozostać otwarty, a więc że dodatkowa linia łączeń jest warunkowo otwartą i nie wprowadzi zakłóceń do przebiegu sterowania.

Jeżeli przy próbie redukowania zestyków wielokrotnych nie można stwierdzić, że wprowadzone przy tym dodatkowe linie łączeń są stale otwarte, to należy za pomocą siatki stanów sprawdzić, czy nie są one otwarte warunkowo. Zasadę tę wykorzystamy przy redukowaniu zestyków w układzie opracowanym poniżej, a będącym wariantem z uproszczonymi obwodami wyjściowymi układu z rys. 134 do 136. Rozwiązanie z uproszczonymi obwodami wyjściowymi wymaga jak wiadomo ułożenia zredukowanej tabeli programu, w której taktom jednego wiersza odpowiadają jednakowe stany wyjść. Na podstawie stanów wyjść podanych w pełnej tabeli programu (rys. 134b) oraz wykresu redukcyjnego (rys. 134c) dochodzimy do wniosku, że w jednym wierszu mogą zostać umieszczone jedynie takty ⑤ i ⑦ z wyjściem 000, każdy zaś z pozostałych taktów ustalonych musi się znaleźć w oddzielnym wierszu. Redukuje to pełną tabelę programu z siedmiu do sześciu zaledwie wierszy, ale nie zwiększa liczby trzech przekaźników, jaka była potrzebna w rozwiązaniu opartym o maksymalnie zredukowaną tabelę.

Zredukowaną częściowo sześciowierszową tabelę programu podano na rys. 137a. Rozmieszczenie wierszy tej tabeli w siatce stanów będzie trudniejsze niż poprzednio, dlatego też obok odwzorowania w narożach sześcianu (rys. 137b) podano pomocniczy diagram przejść między wierszami. Na podstawie tego diagramu już bez trudu można przyporządkować wiersze tabeli narożom sześcianu, a z tego odwzorowania przejść kolejno do siatki przejść (nie pokazanej na rysunku), siatki stanów (rys. 137c) i siatki wyjść (rys. 137d).

Na podstawie siatki stanów można ustalić wyrażenie strukturalne obwodów wzbudzenia przekaźników W, X i Y

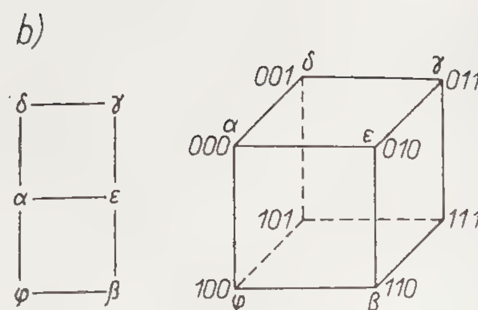
$$W = a\bar{x}+\bar{b}w; \qquad X = \bar{a}w+\bar{b}y+(a\bar{w}+b\bar{y})\,x; \qquad Y = \bar{a}y+b\bar{x}$$

Na rysunku 138a przedstawiono schemat układu, odpowiadającego podanym wyżej wyrażeniom strukturalnym. Układ ten wymaga zastosowania przycisków sterowniczych A i B, z których każdy byłby wyposażony w dwa zestyki zwierne i dwa rozwierne. Spróbujemy przeprowadzić redukcję zestyków a, a, b, b przez odpowiednie połączenia przewodów, zaznaczonych na rys. 138a numerami od *1* do *8*.

Połączenie przewodów *1* i *4*, redukujące jeden z dwóch zestyków zwiernych przycisku A, wprowadza do obwodów wzbudzenia przekaźników W i X dodatkowe linie łączeń stale otwarte (w jednej występuje połączenie $x\bar{x}$, w drugiej — $w\bar{w}$), a oprócz tego do obwodu przekaźnika W wprowadza dodatkową linię łączeń $bw\bar{x}\bar{y}$. Połączenie zaś przewodów *5* i *8* wprowadza do obwodu przekaźnika Y — linię $a\bar{w}\bar{x}\bar{y}$. Porównanie stanów tych dwóch ostatnich linii łączeń ze stanami wzbudzenia przekaźników W i Y zanotowanymi w siatce rys. 137c wykazuje niezgodność w polach **8** i **16**. W polu **8** wyrażenie $bw\bar{x}\bar{y} = 1$, co oznacza, że w reprezentowanych przez to pole stanach zestyków dodatkowa linia łączeń obwodu przekaźnika W jest zamknięta, a według zapisu w siatce ($W = 0$) powinna być otwarta. Podobnie w polu **16**, w którym $a\bar{w}\bar{x}\bar{y} = 1$, znaj-

a)

	00	01	11	10	$E_1E_2E_3$
α	(1)	4	—	6	000
β	(2)	5	—	6	010
γ	(3)	4	—	7	001
δ	3	(4)	—	—	101
ε	1	(5)	—	(7)	000
φ	2	—	—	(6)	110



c)

wxy \ ab	00	01	11	10	
000	000	001	—	100	α
001	011	001	—	—	δ
011	011	001	—	010	γ
010	000	010	—	010	ε
110	110	010	—	100	β
111	—	—	—	—	
101	—	—	—	—	
100	110	—	—	100	φ

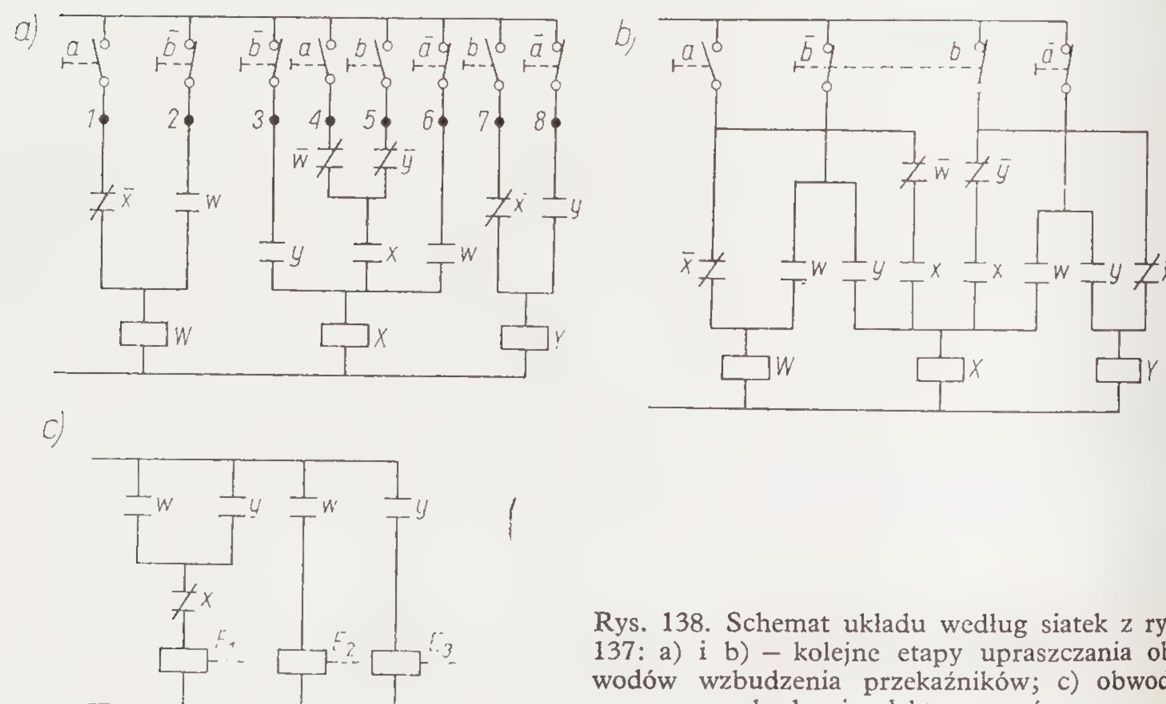
WXY

d)

00	01	11	10
000	000		000
101	101		
001	001		001
000	000		000
010	010		010
110			110

$E_1E_2E_3$

Rys. 137. Opracowanie siatki stanów i wyjść dla wariantu z uproszczonymi obwodami wyjściowymi: a) zredukowana tabela programu; b) diagram przejść i odwzorowanie wierszy w narożach sześcianu; c) siatka stanów; d) siatka wyjść



Rys. 138. Schemat układu według siatek z rys. 137: a) i b) – kolejne etapy upraszczania obwodów wzbudzenia przekaźników; c) obwody wzbudzenia elektrozaworów

dujemy $Y = 0$. Wynika stąd, że omawianych linii łączeń nie można zaliczyć do otwartych warunkowo. Rzut oka na schemat rys. 138a wskazuje jednak, że jeśli w wyrażeniu strukturalnym obwodu wzbudzenia przekaźnika X zrezygnujemy z faktoryzacji, to wyrażenia strukturalne analizowanych linii łączeń zmienią się na: $b\bar{w}x\bar{x}\bar{y}$ i $a\bar{w}x\bar{x}\bar{y}$, obie linie będą więc stale otwarte.

Połączenie przewodów *2* i *3*, dające redukcję jednego z dwóch zestyków $\bar{b}$, wprowadza do obwodu X dodatkową linię łączeń $awxy$, do obwodu zaś W — oprócz dwóch linii stale otwartych — wprowadza linię łączeń $\bar{a}wy$. Wyrażeniom strukturalnym tych linii odpowiadają w siatce stanów rys. 137c pola ze stanami obojętnymi, a więc omawiane linie łączeń są warunkowo otwarte.

Połączenie przewodów *5* i *7* (redukcja jednego z dwóch zestyków b) wprowadza stale otwarte linie łączeń, zawierające połączenie $x\bar{x}$.

Połączenie przewodów *6* i *8* (redukcja jednego z dwóch zestyków $\bar{a}$) wprowadza do obwodu X dodatkową linię łączeń $bw\bar{x}y$, do obwodu zaś Y — poza liniami stale otwartymi — linię $\bar{b}wy$. Stany zamknięcia tych linii odpowiadają w siatce rys. 137c polom ze stanami obojętnymi, a więc są to linie otwarte warunkowo.

Przeprowadzona powyżej analiza wykazała, że po skasowaniu faktoryzacji w wyrażeniu strukturalnym obwodu wzbudzenia X wszystkie proponowane połączenia, mające na celu zredukowanie podwójnych zestyków, są dopuszczalne. Po przeprowadzeniu redukcji układ z rysunku 138a zostaje uproszczony do pokazanego na rysunku 138b.

Na podstawie siatki wyjść (rys. 137d) można ustalić wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia elektrozaworów E_1, E_2, E_3. Mają one postać

$$E_1 = (w+y)\,\bar{x}; \qquad E_2 = w; \qquad E_3 = y$$

Schemat tych obwodów podano na rys. 138c.

W układzie sterowania, którego schematy przedstawiono na rysunkach 138b i c, występuje więcej zestyków, niż w równoważnym mu układzie z rys. 136b i c, jednakże ostatni wariant (rys. 138) posiada w stosunku do poprzedniego poważną zaletę: nie wymaga stosowania przycisków A i B z podwójnymi zestykami zwiernymi i nie zmusza do umieszczania zestyków jednego przycisku w dwóch obwodach, zasilanych z różnych źródeł napięcia.

2.4. Uzgodnienie zmian stanów wejść i wyjść

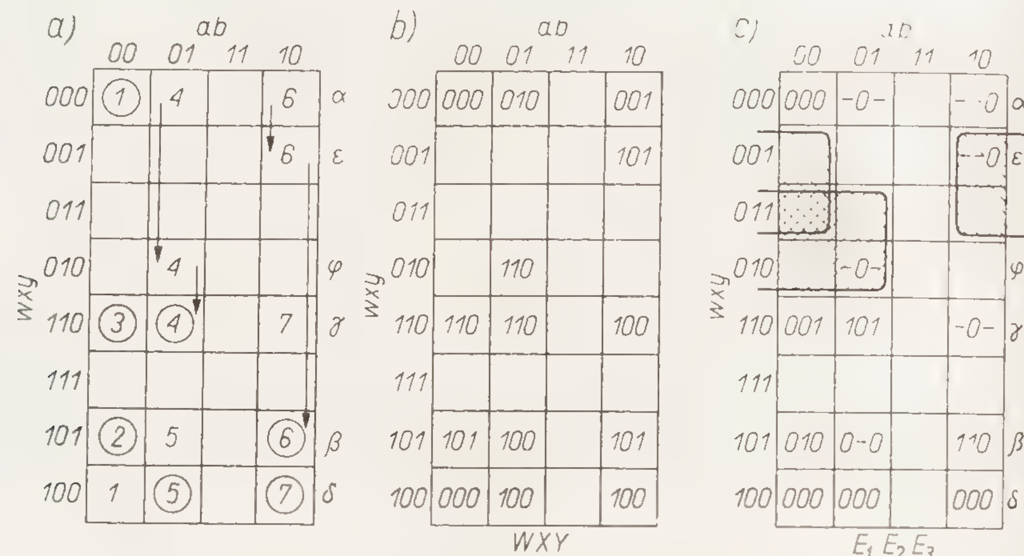
Normy wyposażenia elektrycznego obrabiarek zalecają stosowanie (o ile to nie pociąga za sobą nadmiernej rozbudowy układu) takich rozwiązań, w których załączenie napędu ma miejsce w wyniku zamknięcia pewnych obwodów w układzie sterowania, wyłączenie zaś w wyniku otwarcia tych obwodów.

Z tego punktu widzenia przeanalizujemy projektowany wyżej układ sterowania. W tym celu należy porównać rozmieszczenie wierszy zredukowanej tabeli programu (rys. 134d) w narożach sześcianu (rys. 135b) ze zmianami stanu wyjść przy przechodzeniu z jednego wiersza (naroża) do drugiego.

Przejście z wiersza α do wierszy β i γ powoduje załączenie napędu (załączenie elektrozaworów E_1 oraz E_3, lub E_2). Z odwzorowania (rys. 135e) widać, że towarzyszy temu również zamknięcie obwodów wzbudzenia przekaźników Y lub X. Jednakże przejściu z naroża β do δ (od taktu ② do taktu ⑤), powodującemu wyłączenie napędu (przerwanie obwodu wzbudzenia elektrozaworu E_2), towarzyszy najpierw zamknięcie obwodu wzbudzenia przekaźnika W, a dopiero potem otwarcie zestyku w przerywa obwód wzbudzenia przekaźnika Y, co z kolei przerywa obwód E_2. Podobnie wyłączenie elektrozaworu E_3 przy przejściu z tak-

tu ③ do ⑦ jest inicjowane w pierwszym momencie przez załączenie przekaźnika pośredniczącego X.

Aby otrzymać układ, w pełni odpowiadający wspomnianym wyżej zaleceniom norm, należy inaczej rozmieścić wiersze zredukowanej tabeli programu w wierszach siatki przejść. Wiersze α i δ odpowiadają stanowi wyjść $E_1 E_2 E_3 = 000$, przy czym z wiersza δ prowadzi przejście do wiersza α. Wynika stąd, że wiersz δ powinien odpowiadać narożu z jedną jedynką (jedyne naroże bez jedynki jest już wykorzystane przez wiersz α). Można więc przyporządkować na przykład wiersz δ narożu 100 (rys. 135c). Przejście z taktu ② do taktu ⑤ i z taktu ③ do ⑦ (z wierszy β i γ do δ) odpowiada wyłączeniu napędu, a więc wiersze te należy umieścić w narożach o większej liczbie jedynek, niż naroże, w którym umieszczono wiersz δ, a jednocześnie, jeśli to możliwe, w narożach sąsiadujących z narożem δ. Wynika stąd, że wiersz β trzeba umieścić w narożu 101, wiersz zaś γ w narożu 110. Przy takim rozmieszczeniu wierszy zredukowanej tabeli programu w wierszach siatki przejść (rys. 139a) naciśnięcie przycisku A (lub B) powoduje najpierw załączenie przekaźnika $Y(X)$, a dopiero w drugim takcie przejściowym — przekaźnika W.



Rys. 139. Opracowanie siatek dla wariantu z uzgodnionym przebiegiem zmian wzbudzenia obwodów pośredniczących i wyjściowych: a) siatka przejść; b) siatka stanów; c) siatka wyjść

Na rysunkach 139b i c przedstawiono siatki stanów i wyjść sporządzone zgodnie z drugim wariantem rozmieszczenia wierszy zredukowanej tabeli programu. Na podstawie siatki stanów wzbudzenia przekaźników W, X i Y można ustalić następujące wyrażenia strukturalne ich obwodów wzbudzenia

$$W = x + y + (a + b)\,w; \qquad X = b\bar{w} + \bar{a}x; \qquad Y = a\bar{w} + by$$

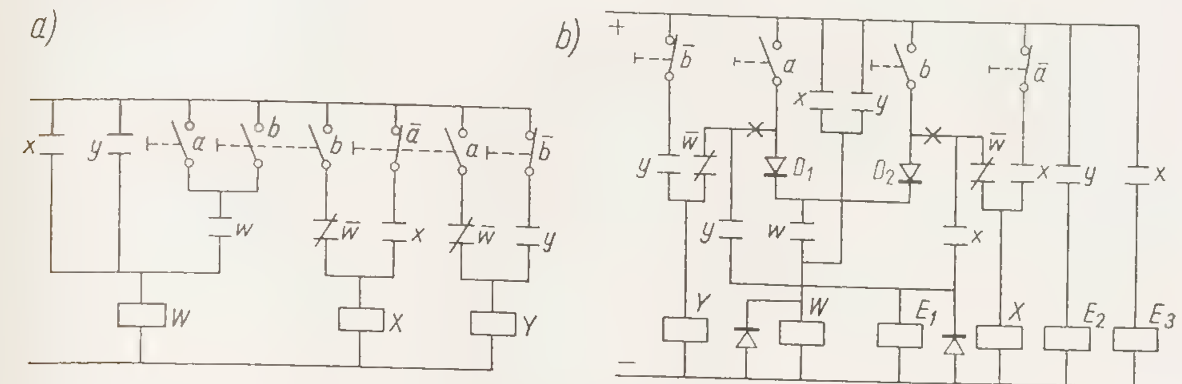
wyznaczające układ, którego schemat podano na rys. 140a. W układzie tym nie można jednak zredukować zestyków a i b, ponieważ w pierwszym przypadku wprowadziłoby to do obwodu wzbudzenia Y niedozwoloną linię łączeń $b\bar{w}$, a w drugim zaś — do obwodu X również niedozwoloną linię łączeń $a\bar{w}$.

Siatka wyjść (rys. 139c) prowadzi do takich samych wyrażeń strukturalnych obwodów wzbudzenia E_1, E_2 i E_3, jakie otrzymano z siatki przedstawionej na rys. 135f.

Redukcję zestyków przycisków w schemacie na rys. 140a można przeprowadzić stosując przekaźniki pośredniczące, w których uzwojenia wzbudzenia są

przystosowane do zasilania ich prądem stałym. Wtedy bowiem można zastosować blokady diodowe (diody D_1 i D_2).

Zasilanie przekaźników prądem stałym pozwala jednocześnie na zasilanie obwodów sterowania i obwodów wyjściowych z jednego źródła prądu, a to umożliwi dalszą redukcję zestyków. Na rys. 140b przedstawiono schemat tak uproszczonego układu.



Rys. 140. Schematy obwodów według rys. 139: a) obwód wzbudzenia przekaźników; b) obwody wzbudzenia przekaźników i elektrozaworów po uproszczeniu przy wykorzystaniu blokad diodowych

Przeprowadzone uproszczenie nie wprowadziło dodatkowych linii łączeń w obwodach wzbudzenia przekaźnika W mimo, że w miejscach zaznaczonych krzyżykami nie zastosowano diod, ponieważ odpowiednie gałęzie schematu prowadzą przez zestyki $\bar{w}w$. Zostają natomiast wprowadzone dodatkowe linie łączeń $(\bar{b}\bar{w}y + \bar{a}\bar{w}x)$ do obwodu wzbudzenia elektrozaworu E_1. Pola siatki wyjść, odpowiadające tym liniom łączeń, na rys. 139c zostały zakreskowane. Można stwierdzić, że pokrywają się one z obojętnymi stanami wzbudzenia tego elektrozaworu, a więc są dozwolone.

Przy okazji należy zwrócić uwagę na szczegół związany z obojętnymi stanami wzbudzenia w siatce wyjść. Przejście z wiersza α do β w kolumnie 10 prowadzi przez dwa takty pośrednie, występujące kolejno w wierszach 000 i 001. Taktowi początkowemu ① odpowiada $E_1 = 0$, w takcie zaś końcowym tego przejścia (w takcie ⑥) $E_1 = 1$. Zgodnie z wyjaśnieniami, podanymi na początku niniejszego rozdziału, w polach z taktami przejściowymi wpisano kreski w miejscu oznaczeń stanu wzbudzenia E_1, oznaczające, że w danych taktach stan wzbudzenia E_1 może być dowolny. Dowolność ta pozwoliła na wprowadzenie omówionej wyżej dodatkowej linii łączeń $\bar{b}\bar{w}y$, dającej w drugim od góry polu kolumny *10* stan $E_1 = 1$. Nie pociąga to za sobą dalszych zmian wypełnienia pól z obojętnym stanem wzbudzenia tego elektrozaworu, ponieważ takt przejściowy z drugiego pola kolumny *10* prowadzi już bezpośrednio do pola z taktem ustalonym ⑥, w którym $E_1 = 1$. Gdyby jednak przejście z omawianego pola do taktu ⑥ prowadziło przez jeszcze jedno pole z wpisanym obojętnym stanem wzbudzenia E_1 (np. przez pole w wierszu *110*), to trzeba by było w tym polu wpisać stan wzbudzenia $E_1 = 1$, znajduje się ono bowiem na drodze między dwoma taktami ze stanem $E_1 = 1$.

2.5. Przejście między wierszami nie sąsiednimi

Przy syntezie układów sterowania z obwodami wielotaktowymi trzeba niejednokrotnie tak rozmieścić wiersze zredukowanej tabeli programu w wierszach siatki przejść, że nie wszystkie zmiany taktów ustalonych odbywają się między

sąsiednimi wierszami. Jeżeli siatkę przejść sporządzano posługując się odwzorowaniem wierszy tabeli w narożach sześcianu, to zmiany taktów między nie sąsiednimi wierszami są na odwzorowaniu dobrze widoczne, znajdują się one bowiem między narożami, nie leżącymi przy wspólnej krawędzi sześcianu. Taki przypadek występował dwukrotnie w ostatnio rozpatrywanym przykładzie przy przejściu z wiersza α do wierszy β i γ (rys. 135c).

Przejście między dwoma taktami ustalonymi, leżącymi w wierszach nie sąsiednich, można prowadzić albo bez wyścigu, albo też z wyścigiem nie krytycznym. W pierwszym przypadku przejście jest prowadzone określoną drogą kolejno przez sąsiadujące ze sobą wiersze siatki przejść; w drugim — jedną z dwóch lub więcej takich dróg, przy czym jest sprawą przypadku, którą drogą przejście się potoczy. Wyścig tylko wtedy będzie wyścigiem nie krytycznym, gdy wszystkie jego drogi są otwarte. Droga przejścia jest otwarta, gdy prowadzi przez wolne pola siatki przejść (pola, w których nie występują ani takty przejściowe, ani ustalone). Nie zamyka również drogi przejścia pole z wpisanym w nie taktem przejściowym, jeżeli prowadzi on do tego samego taktu ustalonego, co szukane przejście.

Możliwość prowadzenia przejść między taktami ustalonymi zależy w dużym stopniu od tego, w jaki sposób wiersze zredukowanej tabeli programu zostaną rozmieszczone w siatce przejść. Opracowanie siatki przejść na podstawie zredukowanej tabeli programu polega właśnie na takim rozmieszczeniu wierszy tabeli w siatce, aby można było zrealizować wszystkie przejścia wyznaczone przez program sterowania. Podane wyżej zasady sprawdzania, czy droga przejścia prowadzi przez pola dla niej otwarte, można przenieść na sprawdzenie, przez które wiersze siatki może ta droga prowadzić. Trzeba wtedy zasady te wyrazić, jak następuje:

a) droga przejścia może prowadzić bez ograniczeń przez nie zajęte wiersze siatki przejść, to znaczy przez te wiersze, którym nie przyporządkowano żadnego z wierszy zredukowanej tabeli programu;

b) wiersze, nie zajęte przez takty ustalone tabeli programu, lecz wykorzystane przy ustalaniu przejść między taktami nie sąsiednimi, należy przy szukaniu dalszych przejść traktować jak wiersze zajęte;

c) droga przejścia może prowadzić przez wiersze zajęte, jeżeli tylko nie zagradzają jej pola, leżące na skrzyżowaniu tych zajętych wierszy, z kolumną przejścia, to znaczy jeżeli wspomniane pola są albo puste, albo są w nich wpisane takty przejściowe, zgodne z żądaną drogą przejścia.

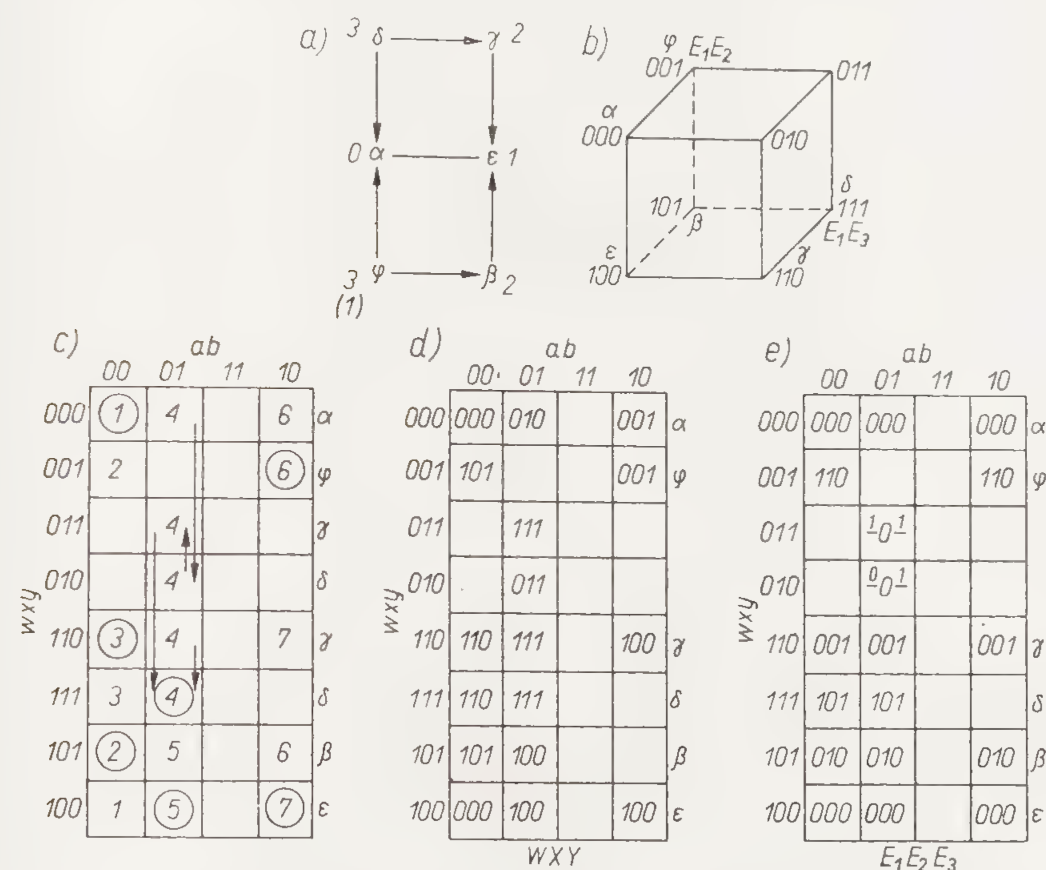
Tak na przykład dla przejścia od naroża α do β (rys. 135c) jest na pewno otwarta droga wiodąca przez naroże 001, ponieważ nie jest ono zajęte przez żaden z wierszy zredukowanej tabeli programu. Tak też poprowadzono to przejście na rysunku. Poprowadzenie tego samego przejścia przez naroże 100 wymaga już sprawdzenia, czy droga nie jest zamknięta w wierszu δ, przydzielonym temu narożu. Przejście między wierszami α i β (rys. 139a) jest przejściem od taktu ① do taktu ⑥ i odbywa się w kolumnie *10*. Leżące w tej kolumnie pole wiersza δ jest zajęte przez takt ⑦, tą drogą nie można więc prowadzić przejścia. Pozostaje więc jedynie przejście przez naroże (wiersz) *001*. W podobny sposób można stwierdzić, że przejście od taktu ① do taktu ④ (od wiersza α do γ) można poprowadzić jedynie przez naroże 010.

Stan wyjść w taktach ustalonych i przejściowych, przez które prowadzi przejście, nie ma w zasadzie wpływu na to, czy dane przejście jest, czy nie jest dozwolone. Chyba że przy syntezie układu postawiono warunek nie umieszczania w obwodach wyjściowych żadnych zestyków aparatów, przekazujących do układu sygnały wejściowe (jak np. w rozwiązaniu pokazanym na rys. 137 i 138). Warunek

ten oznacza bowiem, że stan wyjść we wszystkich polach jednego wiersza siatki musi być jednakowy, a to, jak wyjaśni przykład, ogranicza wybór drogi przejścia.

Jako ilustrację do zagadnienia przejść między nie sąsiednimi wierszami siatki opracujemy jeszcze jeden wariant układu z rysunków 134 do 140. W wariancie tym narzucimy układowi wymaganie jednoczesnego spełnienia dwóch dodatkowych warunków, dotychczas stawianych oddzielnie, a mianowicie: 1) takiego uproszczenia obwodów wyjściowych, by nie występowały w nich zestyki przycisków A i B; 2) załączania napędu posuwu przez zamknięcie obwodów wzbudzenia odpowiednich przekaźników pośredniczących i wyłączanie posuwu — przez ich otwarcie.

Pierwszy z tych warunków oznacza, że syntezę należy prowadzić wychodząc z sześciowierszowej zredukowanej tabeli programu, podanej na rys. 137a; warunek drugi, że załączaniu napędu posuwu powinno odpowiadać przejście z wiersza o mniejszej liczbie jedynek do wiersza o większej ich liczbie. Na rys. 141a przedsta-



Rys. 141. Opracowanie siatek stanów dla wariantu z uzgodnionym przebiegiem zmian wzbudzenia i z uproszczonymi obwodami wyjściowymi: a) diagram przejść; b) odwzorowanie wierszy tabeli w narożach sześcianu, c) siatka przejść; d) siatka stanów: e) siatka wyjść

wiono diagram przejść między wierszami tabeli programu, uzupełniony (w porównaniu z analogicznym diagramem na rys. 137b) strzałkami, wskazującymi zwrot przejścia, które wyłącza napęd. Wiersz, do którego prowadzi strzałka, powinien więc odpowiadać mniejszej liczbie jedynek, niż wiersz, z którego strzałka wychodzi. Między wierszami α i ε narysowano kreskę bez strzałek, ponieważ oba te wiersze odpowiadają stanowi 0 wszystkich trzech elektrozaworów.

Wiersz α zostaje umieszczony w narożu 000. Tabela programu nie pozwala połączyć go z wierszem ε, który wskutek tego musi być umieszczony w innym

narożu o minimalnej liczbie jedności, a więc w narożu z jedną jednością. Zaznaczono to na diagramie, notując obok α cyfrę 0, obok ε cyfrę 1. Wiersze β i γ powinny być umieszczone w narożach o większej liczbie jedynek, niż wiersz ε, a więc w narożach o dwóch jedynkach. W podobny sposób stwierdzimy, że wiersze δ i φ powinny odpowiadać narożom o trzech jedynkach.

Jednak w ośmiowierszowej siatce przejść tylko jeden wiersz ma w oznaczeniu trzy jedynki 111, realizacja postawionego warunku wymagałaby więc zastosowania siatki szesnastowierszowej, odpowiadającej czterem przekaźnikom pośredniczącym, zamiast dotychczasowych trzech. W takiej sytuacji nie byłoby celowe dodawanie czwartego przekaźnika do układu jedynie po to, by zadośćuczynić zaleceniu, podanemu w normie warunkowo. Zdecydujemy się więc odstąpić od tego warunku w jednym przejściu (między wierszami β i φ), umieszczając wiersz φ w narożu z jedną jedynką. Decyzja ta prowadzi do rozmieszczenia wierszy zredukowanej tabeli programu tak, jak pokazano na odwzorowaniu (rys. 141b).

Według tego odwzorowania tylko jedno przejście z taktu ① do taktu ④ (z wiersza α do δ) prowadzi między nie sąsiednimi wierszami, różniącymi się stanem wzbudzenia wszystkich trzech przekaźników pośredniczących. Przejście z α do δ przez naroże ε nie jest dostępne (rys. 137a), ponieważ w drugiej kolumnie 01 w wierszu ε znajduje się takt ustalony ⑤. Naroże 001 jest zajęte przez wiersz φ, w którym jednak pole kolumny 01 jest wolne; przejście z α do δ przez naroże 001 jest więc otwarte. Jednakże ponieważ projektowany wariant układu według założenia nie powinien prowadzić do obwodów wyjściowych z zestykami przycisków, to we wszystkich taktach jednego wiersza siatki powinny występować jednakowe stany wyjść. W wierszu δ jest to stan $E_1\,E_2\,E_3 = 101$. W wierszu φ stan $E_1\,E_2\,E_3 = 110$. Zaznaczono to w odpowiednich narożach, pisząc obok nich symbole tych elektrozaworów, które w odpowiednich wierszach siatki będą wzbudzone. W takcie początkowym ① (wiersz α) i w takcie docelowym ④ (wiersz δ) elektrozawór E_2 pozostaje nie wzbudzony, jest on natomiast wzbudzony w wierszu φ. Gdyby więc przejście z α do δ prowadzić przez wiersz φ, to w jednym takcie przejściowym (takcie *4* w wierszu φ) zostałby na chwilę zamknięty obwód wzbudzenia elektrozaworu E_2. Rozwiązanie takie nie byłoby poprawne.

Tak więc z naroża α do naroża δ można przejść jedynie przez naroże 010. Z naroża zaś 010 można na pewno dojść do naroża δ przez wolne naroże 011, oraz również przez naroże 110, mimo że jest ono zajęte przez wiersz γ. W tym bowiem wierszu w kolumnie *01* tabeli programu (rys. 141c) znajduje się takt przejściowy *4*, prowadzący do tego samego taktu ustalonego ④, do którego szukamy drogi przejścia z taktu ①. Pozostaje jedynie sprawdzić, czy przejście przez wiersz γ nie wprowadza zakłóceń w obwodach wzbudzenia elektrozaworów. W taktach wiersza γ jest wzbudzony jedynie elektrozawór E_3, który pozostaje wzbudzony również w wierszu δ, a więc i z tego punktu widzenia nie ma przeszkód do poprowadzenia przejścia z taktu ① do ④ przez wiersz γ *110*.

Po przejściu z wiersza *000* do *010* można zatem dalsze przejście do wiersza δ poprowadzić w trojaki sposób: przez wiersz *011*; przez wiersz 110; skoro obie powyższe drogi są otwarte, to bez obawy o wystąpienie wyścigu krytycznego można również poprowadzić bezpośrednie przejście z wiersza *010* do wiersza *111*.

Po sporządzeniu siatek przejść odpowiednio do trzech wymienionych wariantów omawianego przejścia i po ustaleniu na ich podstawie wyrażeń strukturalnych obwodów wzbudzenia W, X i Y okazuje się, że do najprostszych wyrażeń prowadzi wariant pierwszy — przejście z taktu ① do ④ bez wyścigu, poprowadzone przez wiersze *000-010-011-111*. Dla tego więc wariantu podano siatkę przejść (rys. 141c), siatkę stanów (rys. 141d) i siatkę wyjść (rys. 141e). Czytelnik może sprawdzić pozostałe dwa rozwiązania.

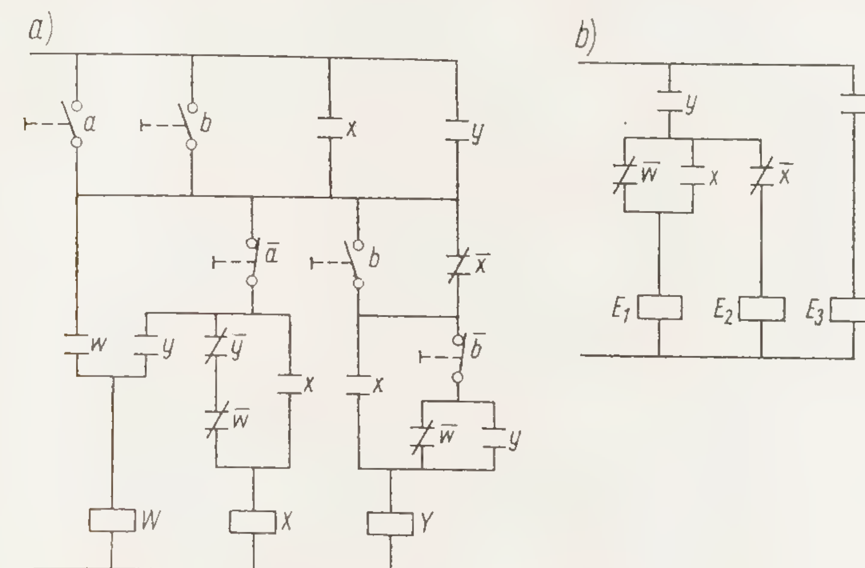
Na podstawie siatek stanów z rys. 141 ustalono następujące wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia przekaźników pośredniczących i elektrozaworów.

$$W = (a+b+x+y)(\bar{a}y+w); \qquad X = (a+b+x+y)(\bar{w}\bar{y}+x)\,\bar{a};$$

$$Y = (a+b+x+y)(b+\bar{x})\,[b(\bar{w}+y)+x]; \qquad E_1 = y(\bar{w}+x); \qquad E_2 = \bar{x}y;$$

$$E_3 = x$$

Sprawdzamy jeszcze, czy przyjęte wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia E_1, E_2 i E_3 nie wprowadzają zakłóceń do pracy elektrozaworów w taktach przejściowych kolumny *01*, dla których zapisano obojętne stany wzbudzenia E_1 i E_3. Sprawdzenie pozwala określić stany wzbudzenia, jakie w tych polach zanotowano nad poziomymi kreskami. Jak widać, wynik jest pozytywny. Schematy obwodów, odpowiadających wyżej podanym wyrażeniom strukturalnym, po-



Rys. 142. Schematy obwodów, opracowanych na podstawie rys. 141: a) wzbudzenia przekaźników; b) wzbudzenia elektrozaworów

dano na rys. 142. Na rysunku tym przeprowadzono redukcję jednego z dwóch zestyków $\bar{a}$, występujących w obwodach wzbudzenia przekaźników W i X. Posługując się siatką stanów (rys. 141d) może czytelnik sprawdzić, że redukcja ta wprowadza do obwodu przekaźnika X jedynie dodatkową linię łączeń, nie kolidującą z podanym w siatce stanem wzbudzenia X.

3. Synteza obwodów z wyjściami stycznikowymi

Synteza obwodów metodą *Huffmana* prowadzi zasadniczo do układów z wyjściami przekaźnikowymi. Takie jest wyjście układu, którego schemat podano na rysunku 131, jak również wyjście prowadzące do obwodu wzbudzenia elektrozaworu E_1 w następujących wariantach układu:

$E_1 = ay+bx$; (rys. 136)

$E_1 = (w+y)\,\bar{x}$; (rys. 138)

$E_1 = (a+\overline{\bar{b}w})\,y+(b+\bar{a}\bar{w})\,x$; (rys. 140)

$E_1 = (\bar{w}+x)\,y$, (rys. 142)

Uzyskanie w układach (rys. 136, 138, 140) wyjść stycznikowych dla obwodów wzbudzenia elektrozaworów E_2 i E_3 należy traktować jako przypadkowe.

Przyczyną powodującą, że synteza metodą *Huffmana* prowadzi zwykle do układów z wyjściami przekaźnikowymi, jest jednakowe traktowanie w tej metodzie takich elementów obwodów wyjściowych, jak pozbawiony wszelkich zestyków elektrozawór i wyposażony w zestyki główne i pomocnicze stycznik. W rezultacie synteza układu, prowadzona w zwykły sposób metodą *Huffmana* nie wykorzystuje zestyków pomocniczych styczników, co ogranicza rolę stycznika do wzmacniacza mocy sygnału wyjściowego. Tymczasem wykorzystanie zestyków pomocniczych stycznika pozwala niejednokrotnie na zmniejszenie liczby przekaźników pośredniczących w projektowanym układzie, z czego należy niewątpliwie korzystać.

Istotną cechą wyjścia stycznikowego jest to, że stan załączanego silnika jest zawsze identyczny ze stanem zestyków głównych, a więc i stanem wzbudzenia odpowiedniego stycznika. Wynika stąd, że projektowany układ będzie układem z wyjściami stycznikowymi, jeżeli a) wszystkie pola siatki wyjść ze stanem *1* danego silnika M_i będą leżały w wierszach, w których zestyki zwierne stycznika S_i, sterującego energią doprowadzoną do silnika M_i, będą spełniały warunek $s_i = 1$; b) stan $M_i = 0$ będzie występował jedynie w wierszach, w których $s_i = 0$.

Aby projektowane siatki przejść i wyjść odpowiadały wyżej podanym wymaganiom, należy:

1) Przy sporządzeniu wykresu redukcyjnego tak zgrupować jego wierzchołki, by w jednej grupie, odpowiadającej jednemu wierszowi zredukowanej tabeli programu, znalazły się takty ustalone o takim samym stanie wyjść. Warunek ten był już brany pod uwagę w poprzednich przykładach przy poszukiwaniu rozwiązań, eliminujących występowanie zestyków przycisków i łączników drogowych w obwodach wyjściowych.

2) Wiersze zredukowanej tabeli programu tak przyporządkować wierszom siatki przejść, aby stan wyjść we wszystkich polach danego wiersza w odniesieniu do tych przekaźników, które mają być zastąpione przez styczniki, zgadzał się ze stanem zestyków zwiernych tych przekaźników zanotowanym na lewym marginesie siatki przejść.

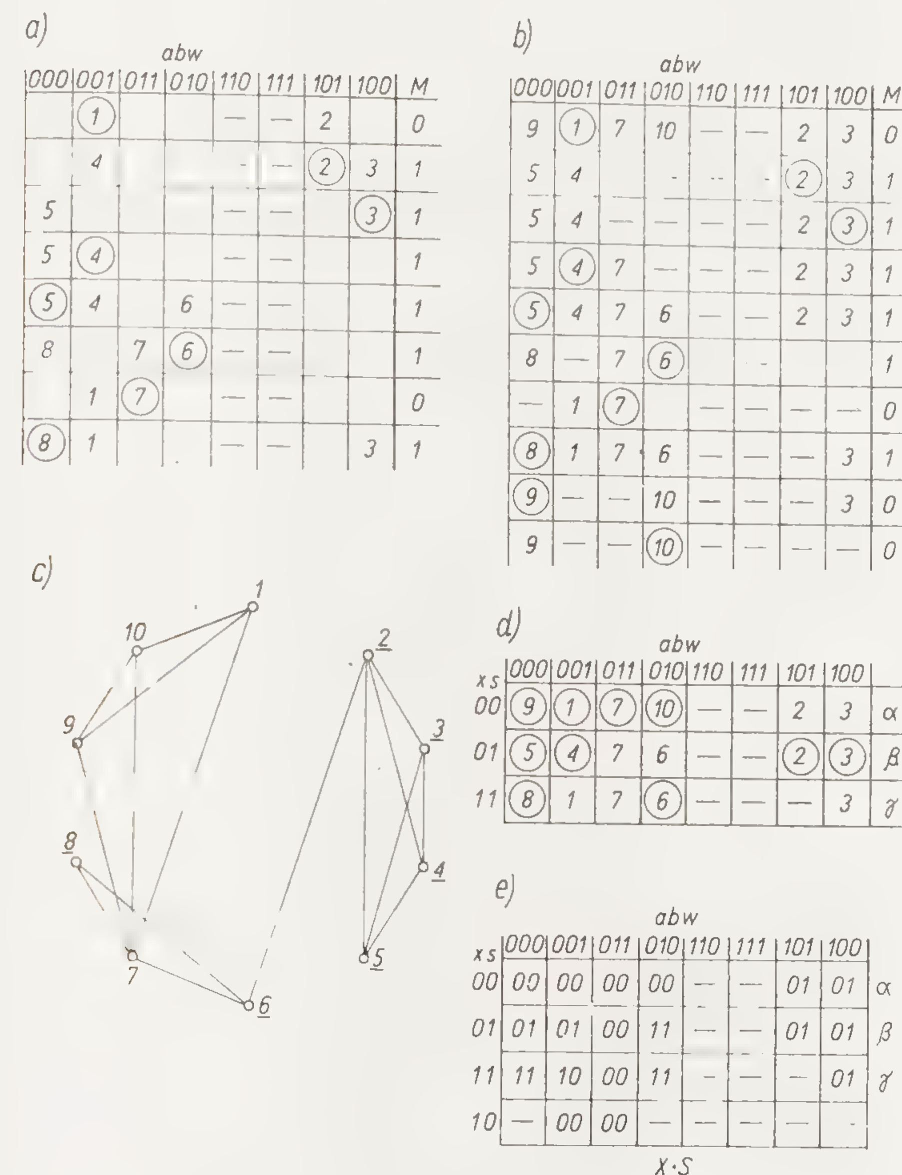
Zgrupowanie wierzchołków wykresu redukcyjnego według zasad podanych w punkcie 1 nie prowadzi, jak wiadomo, do maksymalnej redukcji tabeli programu. Dopóki jednak w rezultacie takiej niepełnej redukcji nie zachodzi konieczność zwiększenia liczby przekaźników w układzie, należy oczywiście wybrać wariant z wyjściami stycznikowymi. Przede wszystkim w układzie z jednym tylko stycznikiem przejmuje on jednocześnie rolę owego dodatkowego przekaźnika. Jednocześnie uporządkowanie wierszy tabeli programu i siatki przejść według zasady podanej wyżej w punkcie 2 prowadzi zwykle do układu o prostszej strukturze. W układach zaś z dwoma i więcej stycznikami mimo zwiększenia liczby przekaźników pośredniczących maleje liczba łączników elektromagnetycznych (styczników i przekaźników) potrzebnych do realizacji układu.

Jeżeli, na przykład, w układzie wymagającym zastosowania dwóch styczników rozwiązanie z wyjściami stycznikowymi zmusza do dodania jednego przekaźnika pośredniczącego (a to zwiększa dwukrotnie liczbę wierszy w siatce przejść), to po zastąpieniu dwóch przekaźników przez styczniki (które i tak trzeba by było zastosować) ogólna liczba przekaźników i styczników łącznie zmaleje o jeden

Pierwszy przykład syntezy układów sterowania z wyjściami stycznikowymi będzie zupełnie prosty.

Zaprojektować układ sterowania napędem zespołu obrabiarki, uruchamianego krótkotrwałym naciśnięciem przycisku „start". Podczas pracy zespołu zderzak, umieszczony na obracającej się tarczy, za każdym obrotem przestawia w położenie wymuszone łącznik *W*, który w chwilę potem wraca do położenia spoczynkowego. Przestawienie łącznika *W* nie ma żadnego wpływu na sterowanie napędu, dopóki nie zostanie naciśnięty przycisk „stop". Pierwsze przestawienie łącznika *W* w położenie wymuszone po naciśnięciu przycisku spowoduje wyłączenie sterowanego napędu, choćby w momencie przestawienia łącznika przycisk znajdował się znowu w położeniu spoczynkowym. Tak więc układ ma zapewnić wyłączenie napędu zawsze w określonym położeniu napędzanego mechanizmu, bez względu na to, w jakim momencie został naciśnięty przycisk „stop". Zakłada się, że zatrzymanie napędzanego mechanizmu następuje, zanim zderzak zejdzie z łącznika *W*.

Przystępując do wypełnienia tabeli programu oznaczymy przycisk „start" literą *A*, przycisk „stop" literą *B*. Tabela programu będzie wypełniona tym razem wiersz po wierszu, a dla większej przejrzystości opracowanie jej będzie rozłożone na dwa etapy. W pierwszym etapie weźmiemy pod uwagę jedynie te takty ustalone i przejściowe, które występują przy normalnej pracy obrabiarki (rys. 143a). Przypadki odmiennego przebiegu sterowania (drugi etap opracowania tabeli programu) zostaną omówione w punkcie 3.1.



a)

000	001	011	010	110	111	101	100	M
	(1)			—	—	2		0
	4			—	—	(2)	3	1
5				—	—		(3)	1
5	(4)			—	—			1
(5)	4		6	—	—			1
8		7	(6)	—	—			1
	1	(7)		—	—			0
(8)	1			—	—		3	1

b)

000	001	011	010	110	111	101	100	M
9	(1)	7	10	—	—	2	3	0
5	4		—	—	—	(2)	3	1
5	4	—	—	—	—	2	(3)	1
5	(4)	7	—	—	—	2	3	1
(5)	4	7	6	—	—	2	3	1
8	—	7	(6)		—			1
—	1	(7)		—	—	—	—	0
(8)	1	7	6	—	—	—	3	1
(9)	—	—	10	—	—	—	3	0
9	—	—	(10)	—	—	—	—	0

d)

x s	000	001	011	010	110	111	101	100	
00	(9)	(1)	(7)	(10)	—	—	2	3	α
01	(5)	(4)	7	6	—	—	(2)	(3)	β
11	(8)	1	7	(6)	—	—	—	3	γ

e)

x s	000	001	011	010	110	111	101	100	
00	00	00	00	00	—	—	01	01	α
01	01	01	00	11	—	—	01	01	β
11	11	10	00	11	—	—	—	01	γ
10	—	00	00	—	—	—	—	—	

Rys. 143. Opracowanie siatki przejść i siatki stanów z wyjściami stycznikowymi: a) pełna tabela programu zasadniczego; b) tabela programu po uzupełnieniu warunkami dodatkowymi; c) wykres redukcyjny; d) siatka przejść, e) siatka stanów

Takt ① wpisujemy w kolumnie *001* (łącznik W naciśnięty), w kolumnie wyjść M wpisujemy 0. Naciśnięcie przycisku A przeprowadza układ do taktu ② ($M = 1$). Po zwolnieniu przycisku A i powrocie łącznika W do położenia spoczynkowego układ znajduje się w takcie ustalonym ⑤ (napęd załączony). W zależności od tego, czy przycisk A zostanie zwolniony wcześniej, czy później, układ przechodzi z taktu ② do ⑤ albo przez takt ③, albo też ④.

Naciśnięcie przycisku B zmienia takt ustalony ⑤ (praca ciągła) na takt ⑥ (praca do chwili naciśnięcia łącznika W). Jeżeli przycisk B zostanie zwolniony przed naciśnięciem łącznika W, to takt ⑥ zmienia się na ⑧ różniący się od ⑥ jedynie kolumną tabeli; jeżeli przetrzymamy przycisk B w stanie wymuszonym dłużej, to naciśnięcie łącznika W (przejście do kolumny *011*) spowoduje wyłączenie napędu (takt ⑦), po czym zwolnienie przycisku powoduje zmianę taktu ⑦ na ①. Naciśnięcie łącznika W w takcie ⑧ również powoduje wyłączenie napędu i przejście do taktu ①.

3.1. Uwzględnienie specjalnych przypadków przy opracowywaniu pełnej tabeli programu

Przy opracowywaniu każdej tabeli programu należy brać pod uwagę możliwość występowania specjalnych przypadków sterowania podczas pracy obrabiarki. Do takiego rodzaju przypadków, które uwzględniane były już w poprzednich przykładach, należą przede wszystkim jednoczesna zmiana dwóch sygnałów wejściowych i przypadkowe naciśnięcie przez obsługującego niewłaściwego przycisku.

Pierwszy przypadek dotyczy prawie wyłącznie dwóch sygnałów, z których jeden pochodzi od elementu obsługi (przycisku), drugi od elementu sterowania (np. łącznika drogowego). W drugim etapie opracowywania tabeli programu (rys. 143b) uwzględniono takie przypadki przy przejściu z taktu ② do ⑤ (zwolnienie przycisku A w tym samym momencie, co łącznika W), z taktu ③ do ④ i z ④ do ③.

Przypadkowe, niewłaściwe naciśnięcie przycisku zostało uwzględnione w taktach ① (naciśnięcie przycisku B zamiast A nie uruchamia napędu, a więc zmienia takt ① z wyjściem $M = 0$ na takt ⑦ z takim samym wyjściem); ③ (przetrzymanie przycisku A przez jeden cykl łącznika W); ④ (powtórne naciśnięcie A gdy $W = 1$, powrót do taktu ②); ⑤ (powtórne naciśnięcie A powrót do taktu ③, a jeżeli w tym samym momencie zostaje naciśnięty łącznik W, to do taktu ②).

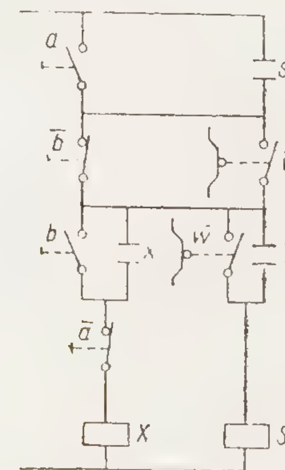
Przewidywano również szczególne przypadki wprowadzenia do układu sygnału wejściowego. Jeżeli nacisnąć przycisk B w tym samym momencie w którym został naciśnięty łącznik W, to napęd powinien zostać od razu wyłączony (przejście z ⑤ do ⑦); ten sam efekt będzie miało powtórne naciśnięcie B i W w takcie ⑧; naciśnięcie w takcie ⑧ przycisku B, gdy $W = 0$, wraca układ do taktu ⑥, wreszcie naciśnięcie przycisku A w takcie ⑧ należy traktować jako skasowanie wydanego poprzednio polecenia wyłączenia napędu, a więc przejście do kolumny *100* w takcie ⑧ powinno przerzucić układ do taktu ③.

Oprócz przypadków omówionych wyżej należy wziąć pod uwagę że podczas pracy obrabiarki może nastąpić zanik napięcia w sieci zasilającej. Układ powinien być tak opracowany, by z chwilą powrotu napięcia nie nastąpiło samoczynne uruchomienie żadnego napędu, o ile w tym momencie nie jest naciśnięty przycisk „start". Jak wiadomo, załączenie napięcia zasilania po przerwie zastaje układ zawsze w sytuacji, odpowiadającej polom pierwszego wiersza. Przewidując możliwość zaniku napięcia i wyłączenia napędu w momencie, gdy $W = 0$, wpisano w pierwszym wierszu tabeli, w kolumnach *000* i *010* takty przejściowe *9* i *10*, prowadzące odpowiednio do taktów ustalonych ⑨ i ⑩ z wyjściem $M = 0$. Nie przewiduje się takiej sytuacji w kolumnie *100*, ponieważ poprzednio zastrzeżono, że omówione zabezpieczenie wprowadzamy jedynie na wypadek, gdy napięcie zasilania powraca niespodziewanie, a przycisk „start" nie jest naciśnięty.

Z wykresu redukcyjnego (rys. 143c) można odczytać, że w jeden wiersz zredukowanej tabeli programu można połączyć cztery wiersze pełnej tabeli: ②, ③, ④ i ⑤. Pozostałe wiersze można rozmieścić w dwóch wierszach tabeli zredukowanej w dwojaki sposób; a) łącząc w jeden wiersz takty ⑥, ⑦ i ⑧, a w drugi trzy takty pozostałe; b) łącząc w jeden wiersz takty ①, ⑦, ⑨ i ⑩ a w drugi wiersz takty ⑥ i ⑧.

Ponieważ jednak szukane jest rozwiązanie z wyjściami stycznikowymi, będziemy w jeden wiersz łączyli wyłącznie takty z jednakowymi wyjściami (na wykresie takty z wyjściem $M = 1$ zostały podkreślone), z tego zaś wynika, że można przyjąć jedynie wariant b), na podstawie którego sporządzamy zredukowaną tabelę programu (rys. 143d).

Tabela ta wskazuje, że w siatce przejść należy przewidzieć przejścia z wiersza α do β, z β do γ i z γ do α. Aby uwzględnić warunek uzyskania wyjść stycznikowych, należy wiersze β i γ, w których $M = 1$, umieścić w tych wierszach siatki stanów wzbudzenia przekaźnika pośredniczącego (oznaczymy go przez X) i stycznika S, w których $s = 1$. Oba te warunki spełnia przeniesienie wierszy zredukowanej tabeli programu bez zmiany ich kolejności do trzech pierwszych wierszy siatki przejść. Można więc zanotować z lewej strony wierszy rysunku 143d odpowiednie wartości x i s, dzięki czemu zredukowana tabela programu będzie spełniała jednocześnie rolę siatki przejść, na podstawie której sporządzamy siatkę stanów wzbudzenia X i S (rys. 143e).



Rys. 144. Schemat układu według rys. 143

Przy wypełnianiu tej ostatniej zwracamy uwagę, że przejście z taktu ⑧ do ① jest przejściem między wierszami nie sąsiednimi, w dodatku w kolumnie *001*, w której ma miejsce to przejście, pole przegradzające wiersz *00* od wiersza *11* jest już zajęte przez takt ④. Z taktu ⑧ w wierszu *11* trzeba więc przejść najpierw do wiersza *10*, a dopiero stamtąd do sąsiedniego wiersza *00* z docelowym taktem ①.

Takiej konieczności kierowania przejściem do wiersza nie sąsiedniego nie ma przy przejściu z taktu ⑥ do ⑦, ponieważ ma ono miejsce w kolumnie *011*, w której polach występuje jedynie zapis taktów *7*. Można więc w wierszu *11* kolumny *011* wpisać od razu adres wiersza *00*. Tym samym wprowadza się do układu wyścig, który będzie jednak wyścigiem nie krytycznym, ponieważ nie prowadzi przez żadne pole zajęte. Trzeba jedynie pamiętać, że wyścig prowadzi

przez wszystkie pola kolumny, a więc i w polach wierszy *01* oraz *10* tej kolumny trzeba wpisać ten sam adres końcowy *00*. Na rys. 143e przedstawiono tak uzyskaną siatkę stanów.

Z siatki tej można odczytać wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia przekaźnika X i stycznika S, złożone z podgrup jedynkowych

$$X = b\bar{w}s+\bar{a}\,(\bar{b}+\bar{w})\,xs = s\,[b\,\bar{w}+\bar{a}\,(\bar{b}+\bar{w})\,x];$$

$$S = a+(\bar{b}\,\bar{x}+\bar{w})\,s$$

albo z podgrup zerowych

$$X = (a+s)\,(\bar{b}+\bar{w})\,(b+x)\,\bar{a}; \qquad S = (a+s)\,(\bar{b}+\bar{w})\,(\bar{w}+x)$$

Na rys. 144 przedstawiono schemat układu, odpowiadający wyrażeniom strukturalnym złożonym z podgrup zerowych.

3.2. Wpływ zmiany rozmieszczenia wierszy zredukowanej tabeli programu na strukturę układu

Wiadomo, że sposób rozmieszczenia wierszy zredukowanej tabeli programu w siatce przejść ma duży wpływ na strukturę projektowanego układu, dlatego też zaleca się opracowanie paru wariantów układu, odpowiadających kolejnym odmianom siatki przejść. Opracowany wyżej układ stanowi ciekawy przykład takiego wpływu.

Przy syntezie układu z wyjściami stycznikowymi swoboda rozmieszczenia wierszy tabeli programu w wierszach siatki przejść jest ograniczona. Tak na przykład wiersze β i γ tabeli (rys. 143d) muszą zajmować te wiersze siatki przejść, dla których $s = 1$. Istnieje więc tylko jedna możliwość (poza już wykorzystaną) rozmieszczenia wierszy tabeli w siatce przejść, polegająca na zamianie miejscami wierszy β i γ. Taką siatkę przejść podano na rys. 145a.

a)

xs \ abw	000	001	011	010	110	111	101	100
00	⑨	①	⑦	⑩	—	—	2	3
01	⑧	1	7	⑥	—	—	—	3
11	⑤	④	7	6	—	—	②	③
10	—	—	—	—	—	—		

b)

xs \ abw	000	001	011	010	110	111	101	100
00	00	00	00	00	—	—	10	10
01	01	00	00	01	-	—	—	11
11	11	11	01	01	-	-	11	11
10	—	—	—	—	—	—	11	11

XS

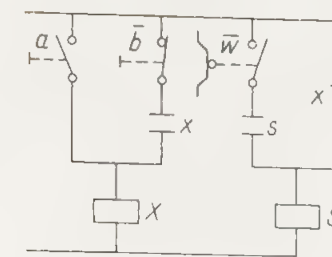
Rys. 145. Wariant siatki przejść i siatki stanów z rys. 143

Występują w niej trzy przejścia między wierszami nie sąsiednimi: 1) z taktów ④ i ⑤ do taktu ⑦; 2) z taktu ① do taktu ②; 3) z taktów ① i ⑨ do taktu ③. Każde z tych przejść można poprowadzić albo z wyścigiem nie krytycznym, albo też jedną z dwóch dróg bez wyścigu. Po sprawdzeniu wszystkich tych możliwości okazuje się, że do optymalnego wyniku prowadzą przejścia bez wyścigu, takie, jak zaznaczone strzałkami w siatce przejść (rys. 145a).

Siatkę stanów sporządzoną według tej siatki przejść, przedstawiono na rysunku 145b. Odczytujemy z niej następujące wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia X i S

$$X = a+\bar{b}x; \qquad S = x+\bar{w}s$$

Schemat tego wariantu układu sterowania podano na rys. 146. Porównanie z rysunkiem 144 uwidacznia wyraźne różnice na korzyść wariantu drugiego.



Rys. 146. Schemat obwodów według rys. 145

3.3. Układ z dwoma stycznikami

Przeprowadźmy teraz syntezę układu sterowania silnikiem nawrotnym, spełniającego następujące warunki:

Sterowany silnik służy do napędu posuwu, ograniczonego w obu zwrotach przez ten sam łącznik krańcowy K. Przestawienie łącznika K w położenie wymuszone powoduje zatrzymanie posuwu nawet w takim przypadku, gdy przycisk załączający posuw w danym zwrocie pozostaje naciśnięty. Po zatrzymaniu przez łącznik K posuwu w prawo można uruchomić jedynie posuw w lewo, po zatrzymaniu zaś przez ten sam łącznik posuwu w lewo można uruchomić jedynie posuw w prawo. Podczas posuwu w prawo naciśnięcie przycisku „w lewo” nie powoduje żadnych zmian w napędzie. Podobnie bez efektu pozostaje naciśnięcie przycisku „w prawo”, gdy odbywa się posuw w lewo.

Projektowanie układu rozpoczyna się, jak zwykle, od opracowania pełnej tabeli programu, stosując tym razem technikę wypełniania tabeli poszczególnymi kolumnami, jak to było robione w przypadku tabeli na rys. 134a. Pierwszy etap opracowania przedstawiono na rys. 147a. Przyjęto tu następujące oznaczenia sygnałów wejściowych: a — „start posuwu w prawo”; b — „start posuwu w lewo”; k — sygnał łącznika krańcowego. Oznaczenia stanów wyjść: P, L (P — napęd posuwu w prawo, L — napęd posuwu w lewo).

W kolumnie pierwszej, odpowiadającej sytuacji, gdy wszystkie sygnały wejściowe mają wartość 0 (wszystkie łączniki: A, B i K są w położeniu spoczynkowym), wpiszemy trzy stany: ① odpowiadający sytuacji wyjściowej (stan wyjść $PL \equiv 00$), ② odpowiadający załączonemu napędowi w prawo ($PL = 10$) i ③ odpowiadający napędowi w lewo ($PL = 01$).

Następna kolumna *001* obrazuje sytuację, gdy łącznik krańcowy K jest naciśnięty. W tej kolumnie występują aż cztery różne takty ustalone układu: ④ pod wpływem sygnału $k = 1$ został zatrzymany napęd w prawo ($PL \equiv 00$), wychodząc więc z tego taktu będzie można uruchomić jedynie posuw w lewo; ⑤ pod wpływem sygnału $k = 1$ został zatrzymany posuw w lewo ($PL \equiv 00$), w tej więc sytuacji będzie można uruchomić jedynie napęd w prawo; ⑥ po zatrzymaniu przez łącznik K posuwu w lewo został uruchomiony posuw w prawo, lecz łącznik K pozostaje jeszcze w stanie wymuszonym (stan wyjść — 10); wreszcie ⑦ po zatrzymaniu przez łącznik K posuwu w prawo został przed chwilą uruchomiony posuw w lewo ($PL \equiv 01$).

Trzecia kolumna odpowiada sytuacji, gdy w stanie wymuszonym znajdują się łączniki K i B. Sytuacja ta może odpowiadać jednemu z dwóch stanów ustalonych układu: 1) łącznik K spowodował zatrzymanie posuwu w prawo, więc naciśnięcie przycisku B uruchamia posuw w lewo (takt ⑨ — $PL \equiv 01$); 2) łącznik K zatrzymał posuw w lewo, więc naciśnięcie przycisku B nie powoduje zmiany stanu wyjść (takt ⑧ — $PL \equiv 00$).

W kolumnie *010* naciśnięcie przycisku *B* mogło nastąpić albo wtedy, gdy odbywał się napęd w prawo (takt ⑩), a wtedy stan napędu nie ulega zmianie *PL* ≡ 10, albo też podczas postoju (bądź też podczas ruchu w lewo), a wtedy przy naciśniętym przycisku *B* (takt ⑪) stan wyjść będzie *PL* ≡ 01.

W kolumnie *101* wpisano dwa takty ⑫ i ⑬ (z wyjściami odpowiednio 00 i 10) tak samo, jak w kolumnie *011* wpisaliśmy ⑧ i ⑨.

Kolumna *100* z taktami ⑭ i ⑮ będzie wreszcie analogiczna do kolumny *010*.

Przystępujemy z kolei do wpisywania taktów przejściowych (rys. 147b). Wychodząc z taktu ① (napęd zatrzymany) można zmienić kolumnę jedynie przez naciśnięcie przycisku *A* (kolumna *100*) lub *B* (kolumna *010*). W pierwszym przypadku zostaje uruchomiony napęd w prawo, a więc w kolumnie *100* wpisuje się takt przejściowy *14*, jako odpowiadający temu z taktów ustalonych, dla którego *PL* ≡ 10. W przypadku zaś naciśnięcia przycisku *B* w kolumnie *010* wpiszemy na podstawie analogicznego rozumowania takt przejściowy *11*.

a)

abk: 000	001	011	010	110	111	101	100	PL	Uwagi
①				—	—			00	
②				—	—			10	
③				—	—			01	
	④			—	.			00	Zatrzymanie przy posuwie w prawo
	⑤				—			00	Zatrzymanie przy posuwie w lewo
	⑥			—	—			10	
	⑦			—	—			01	
		⑧		—	—			00	Zatrzymanie posuwu w lewo
		⑨		—	—			01	
			⑩	—	—			10	
			⑪	—	—			01	
				—	—	⑫		00	Zatrzymanie posuwu w prawo
				—	—	⑬		10	
				—	—		⑭	10	
				—	—		⑮	01	

b)

abk: 000	001	011	010	110	111	101	100	PL
①	—	—	11	—	—	—	14	00
②	4	9	10	—	—	12	14	10
③	5	8	11	—	—	13	15	01
—	④	9	—	—	—	12	—	00
—	⑤	8	—	—	—	13	—	00
2	⑥	16	—	—	—	13	—	10
3	⑦	9	—	—	—	17	—	01
—	5	⑧	—	—	—	—	—	00
—	7	⑨	11	—	—	—	—	01
2	—	9	⑩	—	—	—	—	10
3	—	8	⑪	—	—	—	—	01
—	4	—	—	—	—	⑫	—	00
—	6	—	—	—	—	⑬	14	10
2	—	—	—	—	—	12	⑭	10
3	—	—	—	—	—	13	⑮	01
—	6	⑯	10	—	—	—	—	10
—	7		—	—	—	⑰	15	01

Rys. 147. Opracowanie tabeli programu dla układu z dwoma stycznikami: a) wyznaczenie taktów ustalonych; b) takty przejściowe i warunki dodatkowe

Zmiana taktu ustalonego ② może nastąpić albo jak poprzednio na skutek naciśnięcia jednego z przycisków sterowniczych, albo też na skutek przestawienia przez zderzak łącznika krańcowego *K* w położenie wymuszone. Ponieważ w takcie ② odbywa się posuw w prawo, naciśnięcie żadnego przycisku nie zmienia stanu wyjść (*PL* ≡ 10), a zatem w kolumnie *010* wpiszemy takt przejściowy *10*, w kolumnie *100* — takt *14*. Naciśnięcie łącznika *K* (kolumna *001*) zatrzymuje posuw w prawo, a więc w tej kolumnie wpisuje się *4*.

Rozpatrując w analogiczny sposób możliwe przejścia z taktu ③ (posuw w lewo), dochodzimy do wniosku, że w kolumnie *001* należy wpisać *5* (przejście

do taktu ustalonego ⑤ — „zatrzymanie posuwu w lewo"), w kolumnie *010 - 11* i w kolumnie *100 - 15*, jako kierujące do taktów ustalonych o takim samym wyjściu *PL* ≡ 01.

W taktach ④ i ⑤, jak we wszystkich taktach, odpowiadających wyłączeniu napędu, można zmienić kolumnę jedynie przez naciśnięcie jednego z przycisków sterowniczych. Przycisk *A* nie działa w takcie ④, natomiast w takcie ⑤ uruchamia posuw w prawo, w kolumnie *101* wpiszemy więc odpowiednio w wierszu czwartym *12*, w piątym — *13*. Na podstawie podobnego rozumowania w kolumnie *011* wpisano odpowiednio *9* i *8*.

Takt ⑥ odpowiada sytuacji, gdy po zatrzymaniu posuwu w lewo został uruchomiony posuw w prawo. Za chwilę łącznik *K* powróci do stanu swobodnego (kolumna *000*), nie powodując żadnych zmian w napędzie, a więc w kolumnie *000* wpisuje się *2*.

Analizując przejścia z taktu ⑥ bierze się pod uwagę możliwość naciśnięcia jednego z przycisków. Wprawdzie takt ten odpowiada sytuacji, gdy posuw został uruchomiony w położeniu krańcowym i obsługujący zwolnił przycisk, zanim zderzak oddalił się od łącznika *K*, jest więc mało prawdopodobne, by którykolwiek z przycisków został znowu naciśnięty w tym krótkim czasie, gdy łącznik *K* pozostaje jeszcze w położeniu wymuszonym, jednakże nie jest to niemożliwe. Ponowne naciśnięcie przycisku *A* (kolumna *101*) przerzuci układ do taktu ⑬ o tym samym wyjściu 10, naciśnięcie zaś przycisku *B* według założeń nie powinno zmienić stanu wyjść. W kolumnie *011* nie znajduje się jednak żaden takt z wyjściem 10, trzeba zatem przeoczony takt dopisać przydzielając mu kolejny numer ⑯.

Podobnie w wierszu siódmym w kolumnie *000* wpiszemy takt przejściowy *3*, w kolumnie *011* takt *9*, a w kolumnie *101* trzeba dopisać przeoczony takt ⑰ z wyjściem 01.

Widzimy więc, że przeoczenie w pierwszym etapie opracowywania tabeli taktu lub taktów ustalonych, których występowanie jest mało prawdopodobne, może zostać łatwo wykryte i skorygowane w drugim etapie.

Z taktu spoczynkowego ⑧ jest możliwe tylko jedno przejście do kolumny 001 (zwolnienie przycisku *B*), prowadzące z powrotem do taktu ⑤. Z taktu ⑨ można albo przejść do taktu ⑦ w kolumnie *001*, albo przytrzymując dłużej przycisk *B* w stanie naciśniętym do kolumny *010* (łącznik *K* powrócił do stanu swobodnego), w której wpisano takt przejściowy *11*.

W takcie ⑩ może nastąpić zmiana albo na skutek zwolnienia przycisku *B*, zanim posuw dojdzie do łącznika krańcowego *K*, albo też na skutek dojścia posuwu do łącznika *K*, zanim zwolnimy przycisk *B*. W pierwszym przypadku (przejście do kolumny 000) powracamy do taktu ②, w drugim zaś znajdziemy się w sytuacji, w której powinno nastąpić zatrzymanie posuwu w prawo przez łącznik *K*. Ponieważ jednak zatrzymanie takie pozwala uruchomić posuw w lewo, więc z taktu ⑩ (zatrzymanie przez łącznik *K* posuwu w prawo przy naciśnięciu przycisku *B*) powinniśmy przejść do taktu ⑨ (uruchomienie posuwu w lewo).

Podobnie z taktu ⑪ wracamy w kolumnie *000* do taktu ③, natomiast w kolumnie *011* przechodzimy do taktu ⑧ (zatrzymanie posuwu w lewo).

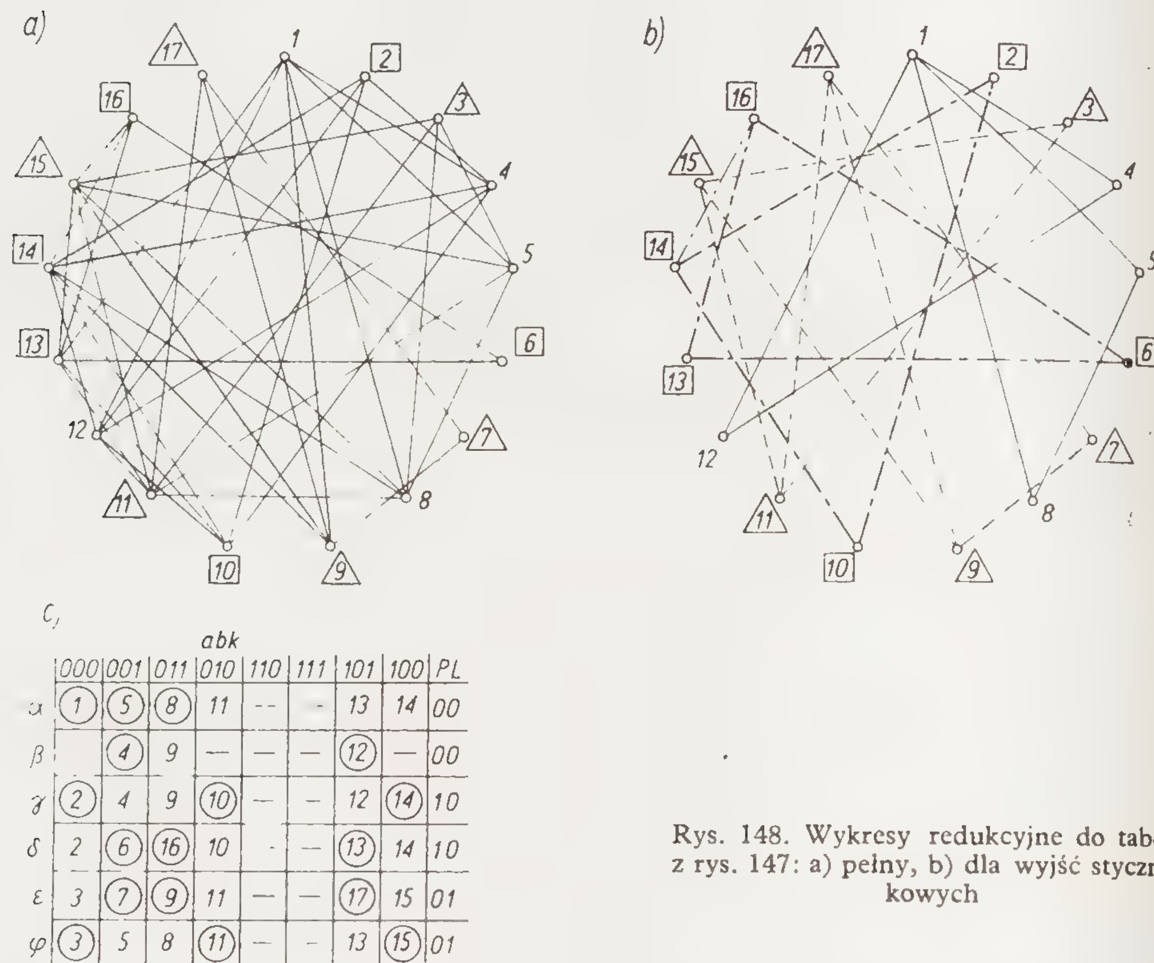
Dwunasty i trzynasty wiersz tabeli programu wypełnia się analogicznie do ósmego i dziewiątego wiersza, pamiętając, że tym razem w stanie wymuszonym znajduje się łącznik *K* i przycisk *A*, podczas gdy poprzednio były to łącznik *K* i przycisk *B*.

Również czternasty i piętnasty wiersz wypełnia się analogicznie do dziesiątego i jedenastego wiersza.

Przechodzimy wreszcie do taktów ustalonych ⑯ i ⑰, dopisanych do tabeli w drugim etapie jej wypełniania. Z taktu ⑯ wracamy do ⑥, jeżeli zdążymy zwol-

nić przycisk, zanim łącznik *K* powróci do położenia swobodnego, albo do taktu ⑩, jeśli najpierw wróci do położenia swobodnego łącznik *K*. Podobnie z taktu ⑰ przechodzi się do taktu ⑦ lub ⑮.

Na rysunku 148a przedstawiono wykres redukcyjny, sporządzony na podstawie pełnej tabeli programu. W wykresie tym, należącym do niezbyt przejrzystych, wyodrębniono punkty, odpowiadające stanom z wyjściem 10 przez ujęcie ich numerów w ramki kwadratowe; punkty odpowiadające stanom z wyjściem 01 — przez ujęcie ich w ramki trójkątne, wreszcie numery nie obwiedzione oznaczają stany z wyjściem 00.



	000	001	011	010	110	111	101	100	PL
α	①	⑤	⑧	11	--	-	13	14	00
β		④	9	—	—	—	⑫	—	00
γ	②	4	9	⑩	—	—	12	⑭	10
δ	2	⑥	⑯	10	-	—	⑬	14	10
ε	3	⑦	⑨	11	—	—	⑰	15	01
φ	③	5	8	⑪	—	—	13	⑮	01

Rys. 148. Wykresy redukcyjne do tabeli z rys. 147: a) pełny, b) dla wyjść stycznikowych

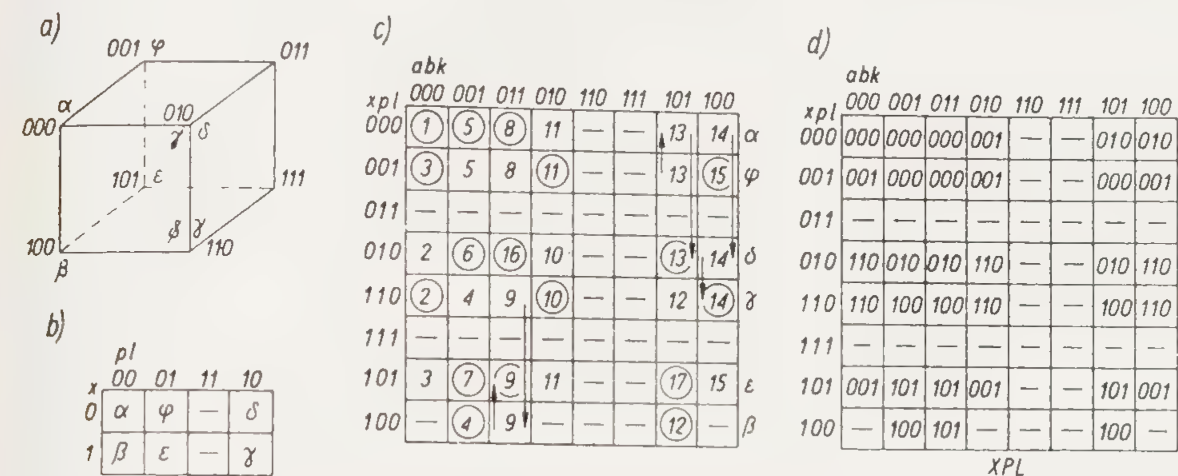
Jak widać z wykresu redukcyjnego, pełną tabelę programu można sprowadzić różnymi sposobami do tabeli zredukowanej, zawierającej jednak zawsze co najmniej pięć wierszy.

Chcąc uzyskać siatkę przejść z wyjściami stycznikowymi, można na podstawie wykresu redukcyjnego grupować we wspólne wiersze takty ustalone o jednakowych stanach wyjść. Tych stanów jest trzy 00, 10 i 01. Ażeby wykres był bardziej przejrzysty dobrze będzie przerysować go, kreśląc połączenia między wierzchołkami trzema różnymi kolorami, odpowiadającymi trzem stanom wyjść i opuszczając połączenia między wierzchołkami, reprezentującymi różne stany wyjść. Taki wykres redukcyjny, uproszczony do wymagań rozwiązania z wyjściami stycznikowymi, podano na rys. 148b. Na rysunku tym, zamiast różnych kolorów, zastosowano różne rodzaje linii łączących wierzchołki.

Widać teraz wyraźnie, że dla każdego z trzech stanów wyjść odpowiadające im takty ustalone można zgrupować każdorazowo w dwa wiersze. Dla stanu wyjść

00 zgrupowanie takie można przeprowadzić w dwojaki sposób, albo w pierwszym wierszu dać takty ①, ⑤ i ⑧, a w drugim takty ④ i ⑫, albo też w pierwszym umieścić takty ①, ④, ⑫, a w drugim ⑤ i ⑧. Na rys. 148c przedstawiono zredukowaną tabelę programu odpowiadającą pierwszemu wariantowi.

Tabela ta obejmuje sześć wierszy, można się więc spodziewać, że na jej podstawie uda się ułożyć siatkę programu, odpowiadającą dwom stycznikom *P* i *L* i jednemu przekaźnikowi pośredniczącemu *X* Siatka będzie miała osiem wierszy, wśród których jednak niewykorzystane wiersze ze stanem $pl \equiv 11$ ponieważ nie można dopuścić, aby oba styczniki *P* i *L* były jednocześnie załączone. Pozostaje więc do dyspozycji sześć wierszy, dokładnie tyle, ile ich zawiera zredukowana tabela programu.



b)

x \ pl	00	01	11	10
0	α	φ	—	δ
1	β	ε	—	γ

c)

xpl \ abk	000	001	011	010	110	111	101	100	
000	①	⑤	⑧	11	—	—	13	14	α
001	③	5	8	⑪	—	—	13	⑮	φ
011	—	—	—	—	—	—	—	—	
010	2	⑥	⑯	10	—	—	⑬	14	δ
110	②	4	9	⑩	—	—	12	⑭	γ
111	—	—	—	—	—	—	—	—	
101	3	⑦	⑨	11	—	—	⑰	15	ε
100	—	④	9	—	—	—	⑫	—	β

d)

xpl \ abk	000	001	011	010	110	111	101	100
000	000	000	000	001	—	—	010	010
001	001	000	000	001	—	—	000	001
011	—	—	—	—	—	—	—	—
010	110	010	010	110	—	—	010	110
110	110	100	100	110	—	—	100	110
111	—	—	—	—	—	—	—	—
101	001	101	101	001	—	—	101	001
100	—	100	101	—	—	—	100	—

Rys. 149. Opracowanie siatki stanów dla układu według programu z rys. 147: a) odwzorowanie wierszy tabeli w narożach sześcianu; b) odwzorowanie wierszy w polach siatki *Karnaugha*, c) siatka przejść; d) siatka stanów

Przy dalszym przydzielaniu wierszy tabeli programu wierszom siatki przejść można posłużyć się odwzorowaniem stanów trzech zmiennych (*X*, *P*, *L*) przez naroża sześcianu (rys. 149a). Zgodnie z poprzednimi ustaleniami wiersz α tabeli należy wpisać w narożu 000, wiersz β w narożu 100. Jeżeli stan stycznika *P* będzie oznaczony przez drugą cyfrę naroża, a stycznika *L* przez trzecią, to wiersze γ i δ muszą zajmować naroża 010 i 110, wiersze zaś ε i φ — naroża 001 i 101. Przydzielmy najpierw wierszowi γ naroże 010, wierszowi δ — naroże 110. Pozwala to na przejście z α do γ nie pozwala jednak na przejście z wiersza α do δ (z taktu ⑤ do ⑬). Przejście z taktu ⑤ do ⑬ ma bowiem miejsce w kolumnie *101*, nie można więc wykorzystać przejścia pośredniego przez naroże (wiersz) 100, bowiem w tym wierszu, w kolumnie *101* znajduje się takt ustalony ⑫. Na rys. 149a przekreślono więc litery γ i δ i napisano je przy tej samej pionowej krawędzi sześcianu w odwróconym porządku na górze δ, na dole γ. Porównując przejście ze zredukowaną tabelą stwierdzamy, że tym razem z wiersza α do δ jest przejście bezpośrednie; z wiersza zaś α do γ przejście pośrednie przez wiersz β, w którym w kolumnie *100* występuje pole nie zajęte.

Sprawdzając w zredukowanej tabeli programu przejścia między wierszami γ i δ oraz ε i φ znajdujemy w kolumnie *101* przejście między φ i δ (z taktu ⑫ do ⑬) oraz w kolumnie *011* między γ i ε (z taktu ② do ⑨). Pierwsze z nich można poprowadzić przez wiersz α, w wierszu tym, w kolumnie *101* występuje już bowiem takt przejściowy *13*; drugie przejście — przez wiersz β, w kolumnie 011 którego występuje takt *9*. Wynika z tego, że wiersz φ trzeba umieścić w narożu 001, a wiersz ε w narożu 101.

Po rozdzieleniu w ten sposób wierszy należy sprawdzić, czy możliwe będą pozostałe przejścia, wskazane przez zredukowaną tabelę programu. Okazuje się, że wszystkie pozostałe przejścia mają miejsce między wierszami sąsiednimi.

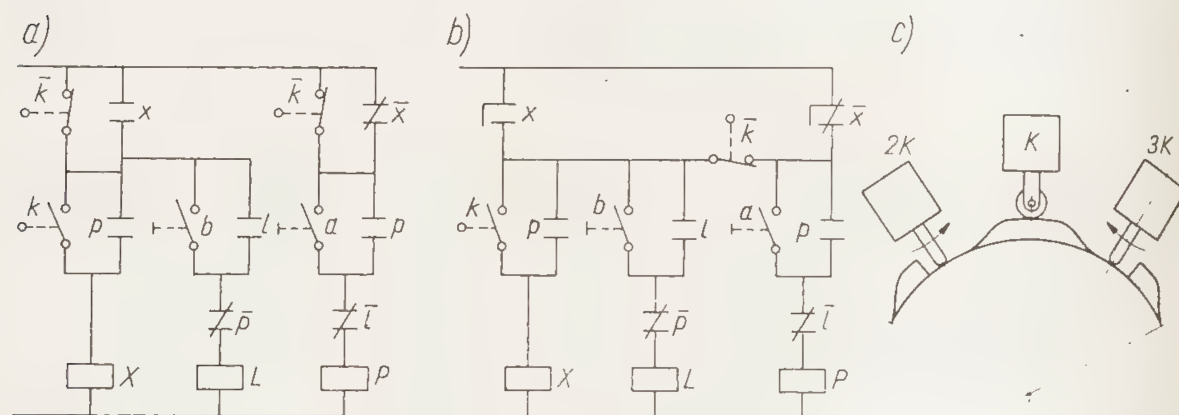
Zamiast posługiwać się odwzorowaniem stanów zmiennych przez naroża sześcianu można było skorzystać z odwzorowania w siatce *Karnaugha*, jak to pokazano na rys. 149b. Odwzorowanie sześcienne jest jednak wygodniejsze; z odwzorowania w siatce *Karnaugha* korzysta się więc zwykle wtedy, gdy liczba zmiennych przekracza trzy.

Można teraz sporządzić ośmiowierszową siatkę przejść (rys. 149c) i siatkę stanów (rys. 149d). Z tej ostatniej odczytujemy wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia X, P i L. Najprostszą postać otrzymuje się z podgrup zerowych

$$X = (\bar{k}+x)(p+k); \qquad P = (\bar{k}+\bar{x})(a+p)\bar{l}; \qquad L = (\bar{k}+x)(b+l)\bar{p}$$

Na rysunku 150a przedstawiono schemat układu po wydzieleniu wspólnego obwodu $(\bar{k}+x)$ z obwodów X i L. Łącznik drogowy K musi mieć migowe przedstawianie zestyków, w przeciwnym bowiem razie grozi hazard 2 stopnia w takcie przejściowym *4* jeżeli po otwarciu zestyku $\bar{k}$ w obwodzie P otworzy się zestyk p przed zamknięciem zestyku k w obwodzie X, to może nastąpić niezgodne z programem sterowania wyłączenie przekaźnika X, a więc przejście z taktu ② do ⑤ zamiast do ④.

Na rys. 150b przedstawiono ten sam układ po zredukowaniu jednego z rozwiernych zestyków łącznika K. Tym razem występuje hazard 1 stopnia przy zmianie stanu przekaźnika X. Eliminować go można, stosując parę zestyków x - $\bar{x}$ z przełączaniem bezprzerwowym.



Rys. 150. Schemat układu według rysunków 147 do 149: a) układ w wykonaniu normalnym; b) po przeprowadzeniu redukcji przy wykorzystaniu par zestyków przełączających bezprzerwowo, c) rozmieszczenie krańcowych łączników awaryjnych

W omawianym układzie jak zwykle nie uwzględniono przycisku stop, ponieważ późniejsze uzupełnienie obwodu tym przyciskiem nie sprawia na ogół żadnych trudności. W tym przypadku jednak nie jest to tak proste, jak w poprzednich przykładach. Przypadkowe naciśnięcie przycisku „stop", gdy łącznik K spowodował zatrzymanie posuwu w prawo, przerywa obwód przekaźnika pamięci X, po czym, wbrew założeniom, będzie można uruchomić napęd jedynie w niepożądanym zwrocie w prawo. Można temu zaradzić w różnorodny sposób.

1) Równolegle z zestykiem rozwiernym przycisku „stop" łączy się zestyk zwierny łącznika K. W rozwiązaniu takim przycisk „stop" nie będzie działał, dopóki przełącznik K znajduje się w stanie wymuszonym, zabezpieczy to nas więc przed przypadkowym przerwaniem obwodu wzbudzenia przekaźnika X.

Wadą takiego wariantu jest konieczność stosowania albo łącznika K o trzech (rys. 150b) lub nawet czterech (rys. 150a) zestykach, albo dodania przekaźnika pomocniczego.

2) Dodaje się krańcowy łącznik awaryjny, którego przestawienie w położeniu wymuszone spowoduje — zgodnie z zaleceniami normy — odcięcie całego układu sterowania od sieci zasilającej. W rozpatrywanym przykładzie trzeba by jednak zastosować dwa takie łączniki (*2K* i *3K* na rys. 155c), wyposażone w dźwignie napędowe jednozwrotne tak, by łącznik *2K* był przestawiany w położeniu wymuszone jedynie pod koniec posuwu w prawo, łącznik zaś *3K* pod koniec posuwu w lewo.

3) Stosuje się przekaźnik X typu remanencyjnego. Wyrażenie strukturalne obwodu cewki załączającej tego przekaźnika, będzie identyczne z wyrażeniem odpowiadającym obwodowi załączania X, a więc $X_{zal} = \bar{k}$; wyrażenie zaś strukturalne obwodu cewki wyłączającej będzie negacją wyrażenia, odpowiadającego obwodowi wyłączania przekaźnika $X_{wyl} = \overline{(\bar{p}+\bar{k})} = \bar{p}k$.

Nie zawsze można zmniejszyć liczbę przekaźników pośredniczących w układzie przez wykorzystanie w obwodach pośredniczących również zestyków pomocniczych styczników. Tego rodzaju przypadek napotkamy, rozwiązując przy użyciu metody *Huffmana* przykład, rozwiązany już uprzednio metodą projektowania intuicyjnego (rys. 48). W przykładzie tym naciśnięcie przycisku start uruchamia cykl pracy, złożony z dwóch posuwów do przodu i dwóch wycofań. W tabeli programu wprowadzono następujące oznaczenia: przycisk „start" jak poprzednio oznaczono literą B; łącznik krańcowy, naciśnięty w położeniu wyjściowym cyklu literą W; łącznik naciśnięty w skrajnym przednim położeniu napędzanego zespołu — literą K; stan wyjścia „napęd do przodu" literą P, a „napęd do tyłu" (wycofanie) literą L.

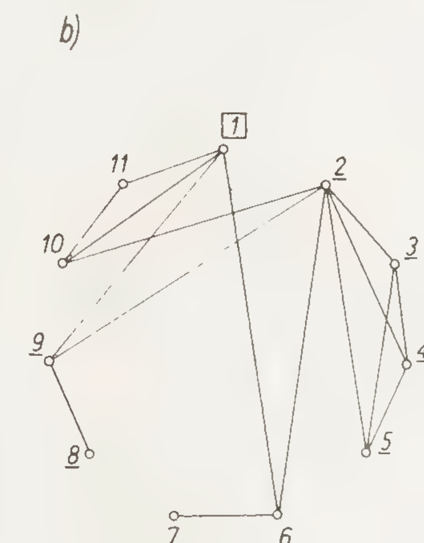
Na rysunku 151a przedstawiono pełną tabelę programu. Aby uniknąć nadmiernej rozbudowy tabeli założono, że przycisk B nie będzie naciskany po zakończeniu pierwszego posuwu do przodu. Po dotychczasowych objaśnieniach, dotyczących techniki sporządzania pełnej tabeli programu, rys. 151a nie wymaga już dalszych wyjaśnień. Z wykresu redukcyjnego (rys. 151b) widać, że rezygnując z wyjść stycznikowych można wiersze pełnej tabeli programu zredukować

a)

bkw

000	001	011	010	110	111	101	100	PL
—	(1)	—	—	—	—	2	—	00
—	3		—	—	—	(2)	4	10
5	(3)	—	—	—	—	2	—	10
5	—	—	—	—	—	—	(4)	10
(5)			6	—	—	—	4	10
7	—	—	(6)	—	—	—	—	01
(7)	8	—	—	—	—	—	—	01
9	(8)	—	—	—	—	—	—	10
(9)	—	—	10	—	—	—	—	10
11	—	—	(10)	—	—	—	—	01
(11)	1	—	—	—	—	—	—	01

b)



Rys. 151. Układ sterowania zespołu, powtarzającego samoczynnie cykl obejmujący posuw do przodu i wycofanie: a) tabela programu; b) wykres redukcyjny

a)

xy \ bkw	000	001	011	010	110	111	101	100
00	(11)	(1)	—	(10)	(10a)	—	2	(11a)
01	(5)	(3)	—	6	6a	—	(2)	(4)
11	(7)	8	—	(6)	(6a)	—	8a	(7a)
10	(9)	(8)	—	10	10a	—	(8a)	(9a)

b)

xy \ bkw	000	001	011	010	110	111	101	100
00	00	00	—	00	$\underline{00}$	—	01	$\underline{00}$
01	01	01	—	11	$\underline{11}$	—	01	01
11	11	10	—	11	$\underline{11}$	—	$\underline{10}$	$\underline{11}$
10	10	10	—	00	$\underline{00}$	—	$\underline{10}$	$\underline{10}$

XY

c)

xy \ bkw	000	001	011	010	110	111	101	100
00	01	00	—	01	$\underline{01}$	—	-0	01
01	10	10	—	00	$\underline{00}$	—	10	10
11	01	00	—	01	$\underline{01}$	—	$\underline{00}$	$\underline{01}$
10	10	10	—	00	$\underline{00}$	—	$\underline{10}$	$\underline{10}$

PL

Rys. 152. Siatki do tabeli programu z rys. 151: a) siatka przejść; b) siatka stanów; c) siatka wyjść

do czterech. Gotową siatkę przejść pokazano na rys. 152a. W siatce tej występują dodatkowe takty ustalone, oznaczone cyframi i literami. Znaczenie tych taktów będzie wyjaśnione poniżej.

3.4. Zabezpieczenie przed skutkami naciśnięcia przycisku podczas pracy obrabiarki w cyklu automatycznym

Przy sporządzeniu pełnej tabeli programu (rys. 151a) nie brano pod uwagę, że obsługujący może przez nieuwagę podczas pracy obrabiarki nacisnąć powtórnie przycisk B. Postaramy się obecnie zabezpieczyć układ przed ewentualnymi ujemnymi skutkami takiego naciśnięcia przycisku.

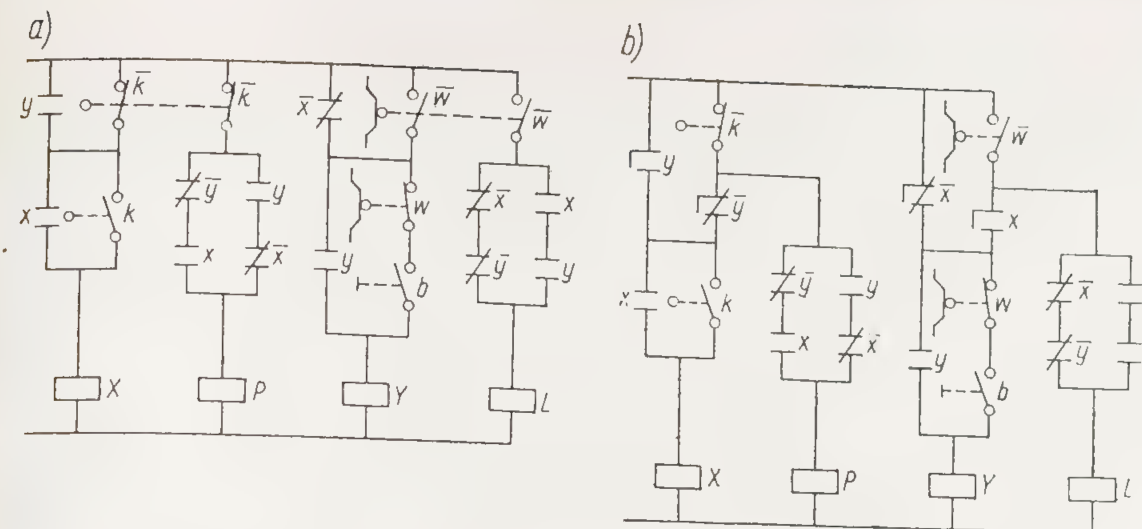
Zabezpieczenie będzie wystarczające, jeżeli w każdym z taktów przejściowych i ustalonych naciśnięcie przycisku wprowadzi takt różniący się od poprzedniego tylko stanem zmiennej b, nie różniący się natomiast stanem wyjść. W tym celu w nie zajęte dotychczas pola siatki przejść, leżące po jej prawej stronie ($b = 1$) symetrycznie względem wypełnionych pól lewej połowy siatki ($b = 0$) wpisano takty o numerach takich, jakie odpowiadają $b = 0$, dla wyróżnienia dopisując literę a.

Na podstawie tabeli programu i siatki przejść sporządza się, jak zwykle, siatkę stanów (rys. 152b) i wyjść (rys. 152c). Zapisy w taktach dodanych zostały podkreślone. Z siatek tych można odczytać wyrażenia strukturalne

$$X = (y+\bar{k})(x+k); \qquad Y = (x+\bar{w})(y+bw); \qquad P = k(xy+xy);$$

$$L = \bar{w}(xy+\bar{x}\bar{y})$$

na podstawie których rysuje się schemat układu (rys. 153). Realizacja układu wymaga zastosowania łączników drogowych K i W z podwójnymi zestykami rozwiernymi. Wykorzystując jednak zależności $y+\bar{k} = y+\bar{k}y$ i $\bar{x}+\bar{w} = \bar{x}+\bar{w}x$ można będzie zastosować zwykłe łączniki drogowe (rys. 153b). W tym ostatnim schemacie trzeba jednak zastosować zestyki x-$\bar{x}$ i y-$\bar{y}$ przełączające bezprzerwowo, aby wyeliminować hazard, wprowadzony przez zastosowane przekształcenie.



Rys. 153. Schematy obwodowe układu z rys. 151 i 152: a) w wykonaniu normalnym; b) po przeprowadzeniu redukcji zestyków $\bar{k}$ i $\bar{w}$ dzięki zastosowaniu par zestyków przełączających bezprzerwowo (x-$\bar{x}$ i y-$\bar{y}$)

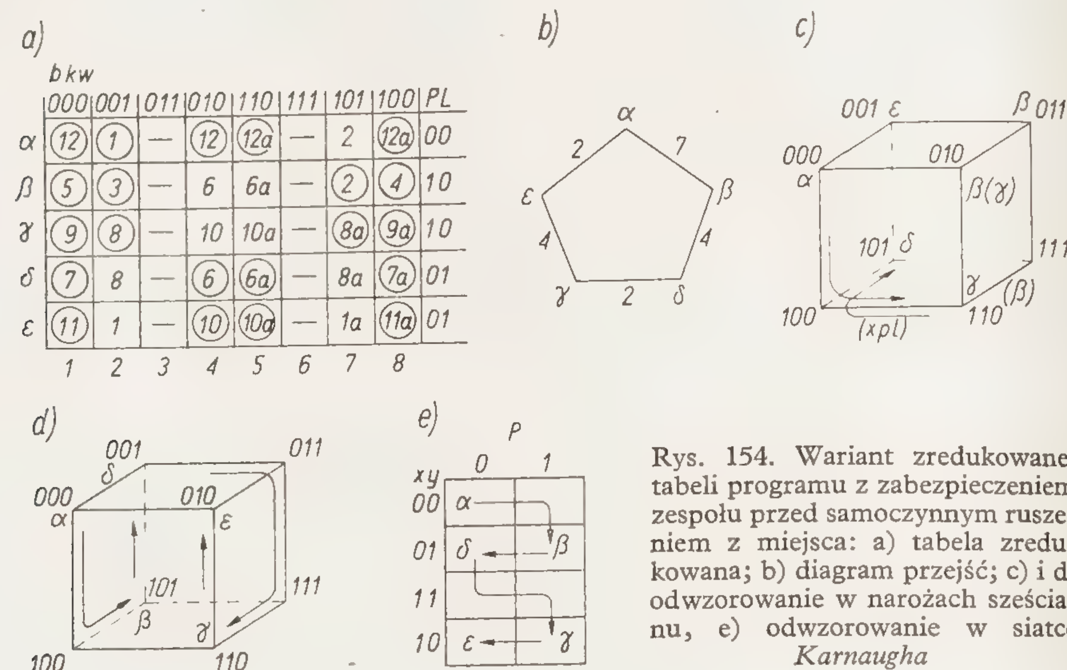
Podane na rys. 152 siatki i otrzymane na ich podstawie układy (rys. 153) mają jednak poważną wadę: zredukowanie do minimum liczby wierszy zmusiło do połączenia w pierwszym wierszu taktu spoczynkowego (1) z taktami (10) i (11), podczas których jest załączony napęd w lewo. Jeżeli więc na skutek przypadkowego zaniku napięcia w sieci napędzany zespół zatrzyma się poza swym położeniem wyjściowym, to z chwilą powrotu napięcia zostanie samoczynnie załączony napęd wycofania. Rozwiązanie takie, jak wiemy, można przyjąć, jeżeli w układzie sterowania całej obrabiarki jest przewidziany przekaźnik zanikowy. Aby z pełnej tabeli programu (rys. 151a) przejść do tabeli zredukowanej, odpowiadającej wymaganiom układu z wyjściami stycznikowymi, wystarczy w wykresie redukcyjnym (rys. 151b) oddzielić wiersz *1* z wyjściem 00 od wierszy *10* i *11* z wyjściem 01. Tak zredukowana tabela programu będzie miała pięć wierszy (rys. 154a). W wolnych polach pierwszego pola tej tabeli dopisano dla $b = 0$ dwa takty ustalone z wyjściem 00. Sens takiego zapisu był już wyjaśniany: jest to zabezpieczenie układu przed samoczynnym ruszeniem na skutek pojawienia się napięcia zasilającego. Te dodane takty oznaczono jednakowym numerem (12). Symetrycznie względem pionowej osi tabeli (dla $b = 1$) dopisano dwa takty (12a). Takie wypełnienie pierwszego wiersza oznacza, że obrabiarka może zostać uruchomiona jedynie wtedy, gdy znajduje się w sytuacji wyjściowej ($w = 1$) i gdy jest naciśnięty przycisk B. Oczywiście wszystkie pola kolumn *011* i *111* pozostają nie wypełnione (jednoczesny stan wymuszony łączników K i W nie jest możliwy).

Wydaje się, że pięć wierszy zredukowanej tabeli programu można bez trudu rozmieścić w ośmiowierszowej siatce przejść, zwłaszcza, że diagram przejść dla takiej tabeli ma prostą i symetryczną postać (rys. 154b). W diagramie tym przy każdej linii, oznaczającej przejście między dwoma wierszami, podano numer kolumny, odpowiadającej temu przejściu (numeracja kolumn jest wpisana u dołu rys. 154a). Ośmiowierszowa siatka mogłaby odpowiadać dwom stycznikom P i L oraz jednemu przekaźnikowi pośredniczącemu X, rozwiązanie takie byłoby więc o jeden przekaźnik oszczędniejsze od poprzedniego.

Na rysunku 154c przedstawiono próbę rozmieszczenia wierszy tabeli programu w wierszach siatki odpowiadającej przekaźnikowi X i stycznikom P, L.

Jeżeli wiersz β umieszczono w narożu 010, wtedy wiersz γ należy umieścić w narożu 110. Wiersz ε zajmie albo naroże 001, albo 101. Przy takim rozmiesz-

czeniu wierszy nie będzie jednak można przejść z wiersza γ do ε. Próbujemy więc umieścić wiersz β w narożu 110, a wiersz γ w narożu 010. Takie rozmieszczenie pozwala na przejście z α do β i z β do δ, jak wskazują strzałki. W dalszym ciągu nie można jednak przejść z wiersza γ do ε (krawędzi 011 - 111 nie można przecież wykorzystywać, odpowiada ona bowiem jednoczesnemu załączeniu styczników *P* i *L*).



Rys. 154. Wariant zredukowanej tabeli programu z zabezpieczeniem zespołu przed samoczynnym ruszeniem z miejsca: a) tabela zredukowana; b) diagram przejść; c) i d) odwzorowanie w narożach sześcianu, e) odwzorowanie w siatce *Karnaugha*

Z układu z jednym tylko przekaźnikiem pośredniczącym trzeba więc zrezygnować. Kolejna próba syntezy tego samego układu będzie polegała na zastosowaniu dwóch przekaźników pośredniczących *X* i *Y* z wyjściem stycznikowym dla jednego zwrotu napędu posuwu (np. do przodu). Dla drugiego zwrotu napędu pozostanie wyjście przekaźnikowe.

Tym razem należy więc sporządzić siatkę przejść dla dwóch przekaźników *XY* i jednego stycznika *P*. W siatce takiej nie będzie już do wykorzystania wierszy niedozwolonych, jak to było w przypadku siatki *XPL*, z nie dającymi się wykorzystać wierszami xpl i $\bar{x}pl$. Zwiększoną w ten sposób liczbę stojących do dyspozycji wierszy należy wykorzystać do takiego zaprojektowania przejść przy zmianie kierunku posuwu, aby wyeliminować możliwość powstawania zwarć łukowych. Zwarcia takie, jak wiemy, mogą występować, gdy takt ustalony, podczas którego stycznik napędu jest załączony w jednym zwrocie (w naszym przypadku stycznik *P*) jest oddzielony od taktu ustalonego z załączonym napędem w drugim zwrocie (stycznik *L*) tylko przez jeden takt przejściowy ze stanem $PL = 00$. Jeżeli zaś stan $PL = 00$ utrzymuje się przynajmniej przez dwa takty przejściowe, to zwarć łukowych można się już nie obawiać. Takich zmian kierunku posuwu mamy w rozpatrywanym przykładzie trzy, aby więc przy każdym nawrocie wykorzystać dwa takty przejściowe z wyłączonym napędem, trzeba by mieć w tym celu w siatce przejść sześć wierszy, ze stanem wyjść $PL = 00$, a jest ich tylko trzy (z ośmiu wierszy siatki wykorzystano już cztery zgodnie z tabelą programu rys. 154a).

Jeżeli nawet przeprowadzanie zmiany kierunku posuwu z wyłączeniem napędu podczas dwóch taktów przejściowych ograniczyć jedynie do zmiany z wycofania na posuw w prawo (przejście z wiersza δ do wiersza γ), to i wtedy także zabraknie wierszy w siatce, co wynika z analizy rozmieszczenia wierszy przeprowadzonej za pomocą odwzorowania rys. 154e. Przejście takie wymagałoby bowiem

przeprowadzenia z wiersza δ ($pxy \equiv 001$) do wiersza γ ($pxy \equiv 110$) przez dwa wiersze pośrednie ze stanem $p = 0$, a więc przez wiersze *011* i *010*. W tym ostatnim wierszu trzeba było jednak umieścić wiersz ε z tabeli programu. W dodatku przejście z δ do γ odbywa się (rys. 145b) w kolumnie drugiej, a więc w tej samej, w której ma miejsce przejście z wiersza ε do wiersza α.

Nadmiar wierszy w siatce przejść będzie można wykorzystać jedynie w tym celu, aby załączanie stycznika *P* odbywało się zawsze przez załączenie przekaźnika pośredniczącego, wyłączanie zaś — przez wyłączenie przekaźnika pośredniczącego. Dlatego właśnie wiersza β tabeli nie umieszczono w wierszu *100* siatki, lecz dopiero w wierszu *101*; podobnie wiersz γ został umieszczony w wierszu *110*, a nie w wierszu *111*. Gdyby bowiem wiersz β (ze stanem wyjść 10) umieścić w wierszu *100*, to naciśnięcie łącznika *K* musiałoby najpierw zmienić ten wiersz na *101* a dopiero w drugim takcie przejściowym wyłączyć stycznik *P*. Oznacza to, że łącznik *K* wyłączałby napęd przez załączenie przekaźnika pośredniczącego (*Y*), co jest nie zalecane przez normę.

a)

pxy \ bkw	000	001	011	010	110	111	101	100	
000	000	000	—	000	000	—	100	000	α
001	001	011	—	001	001	—	011	001	δ
011	—	111	—	—	—	—	111	—	
010	010	000	—	010	010	—	000	010	ε
110	110	110	—	010	010	—	110	110	γ
111	—	110	—	—	—	—	110	—	
101	101	101	—	001	001	—	101	101	β
100	—	—	—	—	—	—	101	—	

PXY

b)

pxy \ bkw	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0	0	—	0	0	—	0	0
001	1	0	—	1	1	—	0	1
011	—	0	—	—	—	—	0	—
010	1	0	—	1	1	—	0	1
110	0	0	—	0	0	—	0	0
111	—	0	—	—	—	—	0	0
101	0	0	—	0	0	—	0	0
100	—	—	—	—	—	—	0	—

L

Rys. 155. Siatki dla układu z rys. 154; a) siatka stanów; b) siatka wyjść

Na rysunku 155 przedstawiono siatkę przejść dla przekaźników *X*, *Y* oraz dla stycznika *P*, a na rys. 155b — siatkę wyjść (stany wzbudzenia stycznika *L*).

Jak wynika z tabeli programu, każdemu przejściu z jednego taktu ustalonego do drugiego taktu ustalonego towarzyszy na ogół zmiana kierunku posuwu. Spostrzeżenie powyższe nie odnosi się jedynie do przejść rozpoczynających się, lub kończących w wierszu α, w którym występują takty ustalone odpowiadające zatrzymaniu posuwu. Przejścia te prowadzą zwykle przez jeden tylko takt przejściowy, w którym ze zrozumiałych względów powinien już być wyłączony posuw w jednym kierunku i nie załączony jeszcze — w drugim kierunku. Tylko przejście z wiersza δ, w którym takty ustalone odpowiadają posuwowi w lewo, do wiersza γ (posuw w prawo) prowadzi przez trzy takty przejściowe *011*, *11'*, *110*, ale już w drugim takcie przejściowym *111* zostaje załączony posuw w prawo ($P = 1$), wobec czego w pierwszym takcie przejściowym powinien zostać wyłączony posuw w lewo. Tak więc we wszystkich taktach przejściowych jest z góry ustalony stan wzbudzenia stycznika *L*, dlatego też w żadnym z pól siatki wyjść (rys.155b), odpowiadających taktom przejściowym, nie wpisano kreski, jako symbolu dowolności stanu wzbudzenia *L* w tym takcie.

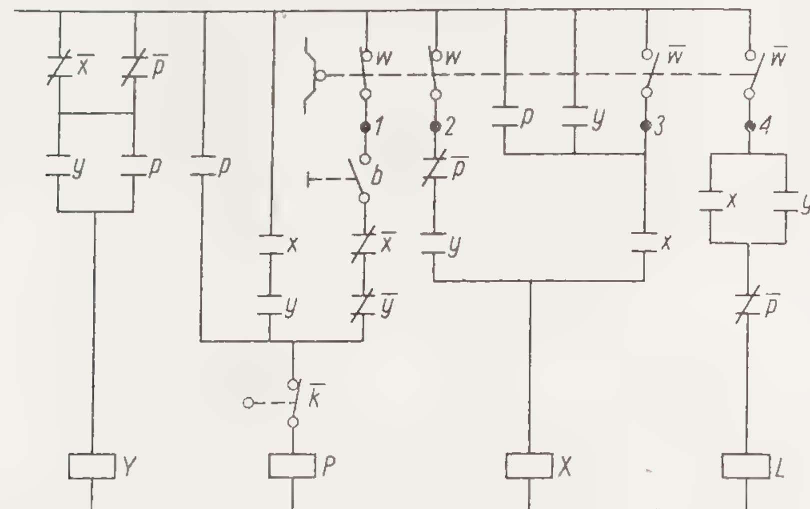
Opracowane siatki pozwalają ustalić wyrażenia strukturalne:

$$X = wy\bar{p}+(p+y+\bar{w})x; \qquad Y = (\bar{x}+\bar{p})(y+p); \qquad P = \bar{k}[bw\bar{x}\bar{y}+xy+p];$$
$$L = \bar{p}\bar{w}(x+y)$$

Na rysunku 156 przedstawiono schemat omówionego układu.

Można jeszcze próbować zredukować podwójne zestyki łącznika *W*. Połączenie przewodów *1* i *2* jest dozwolone, ponieważ nie wprowadza nowych linii łączeń ani do obwodu *X* ani *P*.

Nie można natomiast połączyć przewodu *3* z *4*, ponieważ do obwodu *L* wprowadzałoby się wtedy niedozwoloną linię łączeń $wxy\bar{p}$.



Rys. 156. Schemat obwodowy układu z rys. 154 i 155

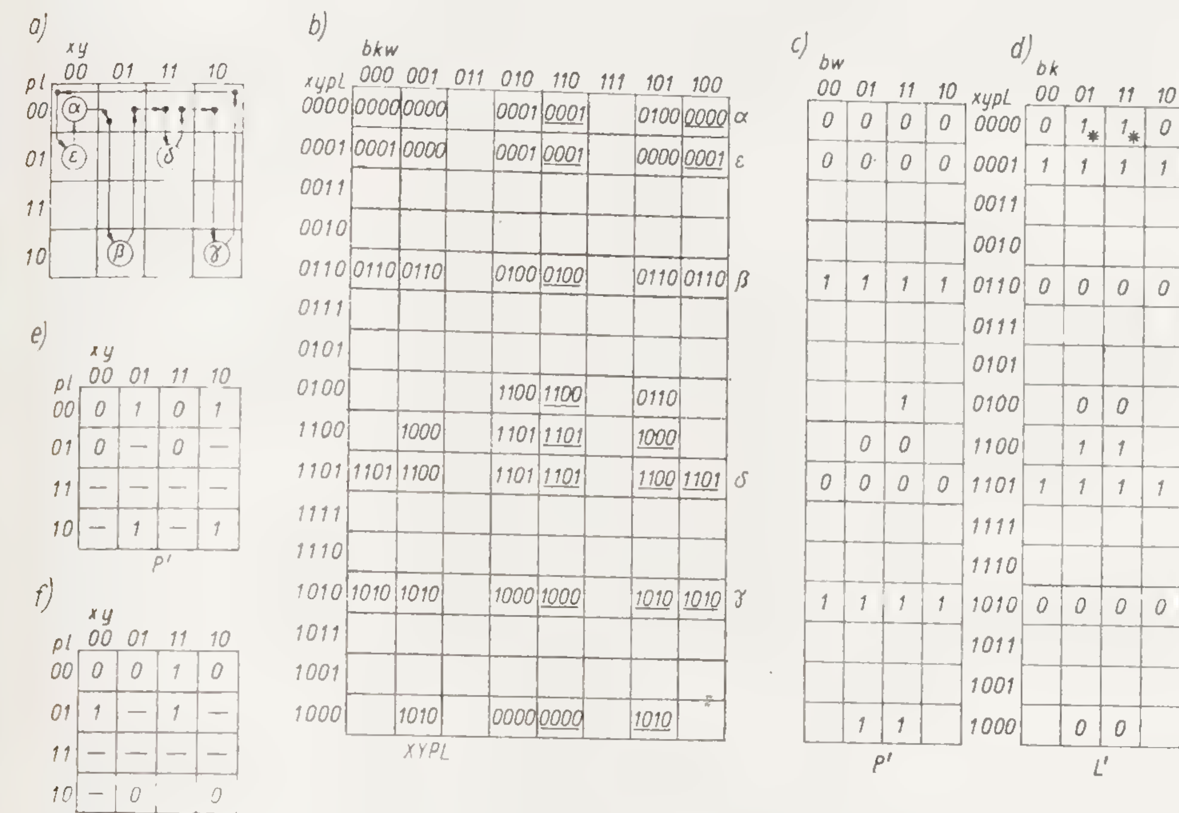
3.5. Wykorzystanie wariantu z wyjściami stycznikowymi w celu wyeliminowania ewentualnych zwarć łukowych

W omówionym wyżej wariancie układu z wyjściem przekaźnikowo-stycznikowym (rys. 154-156) nie udało się uzyskać rozwiązania, w którym każdej zmianie kierunku obrotów silnika napędu posuwu towarzyszyłyby dwa takty przejściowe z nie załączonym ani stycznikiem *P* ani *L*, a właśnie tego rodzaju zwłoka jest niezbędna do zgaszenia łuku między stykami głównymi wyłączanego stycznika przed zamknięciem zestyków stycznika załączanego.

Można oczywiście wyeliminować możliwość występowania zwarć łukowych przy zmianie kierunku obrotów przez dodanie jeszcze dwóch przekaźników pośredniczących, takie rozwiązanie rozbudowuje jednak nadmiernie układ sterowania.

Zarówno pierwszy wariant rozwiązania z wyjściami przekaźnikowymi, jak i drugi z wyjściami przekaźnikowo-stycznikowymi prowadziły do układu z dwoma stycznikami i dwoma przekaźnikami pośredniczącymi. Można więc dojść do wniosku, że opracowanie wariantu z wyjściami stycznikowymi dla obu kierunków posuwu nie przyniesie żadnej korzyści, bo i tak trzeba stosować taką samą liczbę przekaźników i styczników. Jeżeli jednak zdecydować się na dodanie dwóch przekaźników w celu wyeliminowania zwarć łukowych, to warto sprawdzić, czy nie można osiągnąć tego bez dodawania przekaźników, a jedynie opracowując układ z wyjściami stycznikowymi. Układ taki będzie miał dwa przekaźniki pośredniczące *X* i *Y* oraz dwa styczniki *P* i *L*. Odpowiednia siatka przejść będzie liczyła szesnaście wierszy. Zamierzony cel osiągnie się, jeżeli uda się tak rozmieścić wiersze zredukowanej tabeli programu w wierszach siatki, by każda zmiana wiersza prowadziła kolejno przez dwa wiersze siatki, w których $p = 0$ i $l = 0$. Odpowiedniego rozmieszczenia najlepiej jest dokonać za pomocą odwzorowania wierszy siatki przejść w siatce *Karnaugha* (rys. 157a). Określony

wyżej warunek oznacza, że każda zmiana wiersza w siatce przejść powinna prowadzić przez dwa pola, leżące w pierwszym wierszu siatki (rys. 157a), tylko w tym bowiem wierszu $pl = 00$. Okazuje się, że postawiony warunek można zrealizować przy wykorzystaniu pola $xypl \equiv 0000$ do przejścia z wiersza γ do wiersza ε. Chociaż przejście to prowadzi przez zajęty już wiersz α, tym razem jest ono możliwe ponieważ występuje jedynie w kolumnie czwartej. Otóż w czwartej kolumnie wiersza α znajduje się takt ustalony ⑫ dopisany w celu zabezpieczenia napędu przed niespodziewanym uruchomieniem po zaniku i powtórnym pojawieniu się napędu zasilającego. Jeżeli pełny układ sterowania obrabiarki wyposażony będzie w przekaźnik zanikowy, to można zrezygnować z taktu ⑫ i w siatce stanów rozmieścić wiersze według rys. 157a.



Rys. 157. Wariant poprzedniego układu z dwoma przekaźnikami pośredniczącymi, z zabezpieczeniem przed powstawaniem zwarć łukowych: a) odwzorowanie przejść; b) siatka stanów; c) odwzorowanie częściowe obwodu *P*; d) odwzorowanie częściowe obwodu *L*; e) i f) odwzorowanie wierszy z rys. c i d w siatce *Karnaugha*

Zwróćmy uwagę, że bezkolizyjne przejścia przez te same wiersze prowadzą jeszcze przy przejściu z taktu ① do ② (wiersze α i β) oraz z taktu ⑤ do ⑥ (wiersze β i δ), podobnie jak przy przejściach z wiersza β do δ i z δ do γ, wreszcie z γ do ε. Rys. 154b ułatwia stwierdzenie, czy możliwe jest przechodze nie przez te same wiersze.

Odwzorowanie na rys. 157a podaje tak szczegółowe wskazówki do sporządzenia siatki przejść, że można jej wypełnianie pominąć i rysować od razu siatkę stanów (rys. 157b). Na podstawie tej siatki ustalimy najpierw wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia przekaźników *X* i *Y*

$$X = (k+y+p)(k\bar{p}+x); \qquad Y = (\bar{w}+\bar{x}+l)(bw\bar{x}\bar{l}+y)$$

Przystępując do ustalenia wyrażeń strukturalnych obwodów wzbudzenia styczników *P* i *L* należy zwrócić uwagę, że we wszystkich kolumnach, dla których

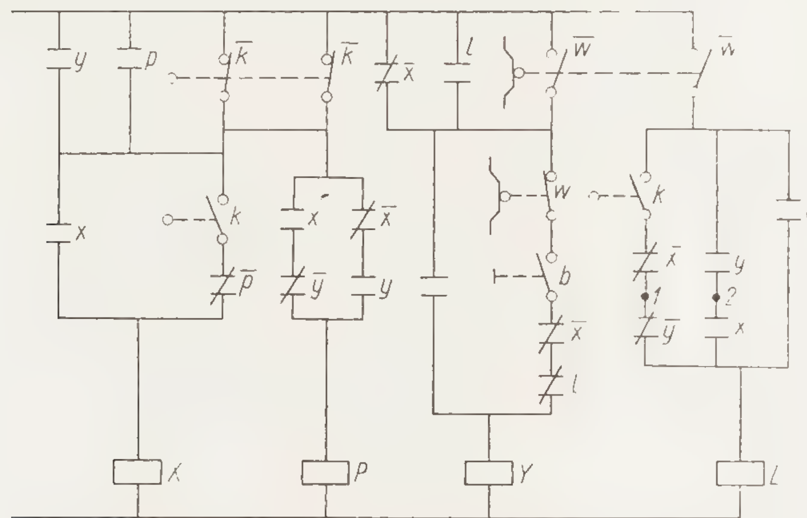
$k=1$, stan wzbudzenia $P=0$. Wynika to z faktu, że łącznik K jest łącznikiem krańcowym dla posuwu w prawo, podobnie jak łącznik W dla posuwu w lewo. Z tego też powodu w kolumnach, dla których $w=1$, stan wzbudzenia $L=0$. Spostrzeżenie to pozwala przedstawić wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia P i L w postaci $P=\bar{k}P'$; $L=\bar{w}L'$, gdzie P' i L' są wyrazami, które można ustalić, przerysowując siatkę wzbudzenia dla P z pominięciem zmiennej k, a dla L z pominięciem zmiennej w (rys. 157c i d).

Zwróćmy teraz uwagę, że w siatce wzbudzenia P' (rys. 157c) nie ma wierszy, w których P' przybierałoby dwie wartości 0 i 1, a więc w wyrażeniu P' nie będą występowały zmienne wejściowe b i w. To spostrzeżenie ułatwi ustalenie wyrażenia P' w polach siatki *Karnaugha* (rys. 157e), odwzorowującej wiersze siatki z rys. 157c. W pola te wpisuje się 0, lub 1 w zależności od tego, czy w odpowiednim wierszu siatki stanów P' występują pola ze stanem 0, czy 1. W pozostałych polach, odpowiadających wierszom siatki P' ze stanami obojętnymi (wierszom nie wypełnionym) wpiszemy kreski. Z tak wypełnionej siatki można odczytać

$$P'=\bar{x}y+x\bar{y}, \qquad \text{a więc} \qquad P=\bar{k}(\bar{x}y+x\bar{y})$$

Podobną metodę można również zastosować przy ustaleniu wyrażenia L', mimo że w siatce stanów L' (rys. 157d) w pierwszym wierszu znajduje się i stan 0 i stan 1. Można jednak na razie przyjąć, że w pierwszym wierszu nie ma pól ze stanem 1, a pominięte pola (zaznaczone gwiazdką) uwzględnić dodatkowo, pisząc $L=\bar{w}L'=\bar{w}(L''+\bar{x}yk)$, gdzie wyraz $\bar{w}\bar{x}\bar{y}k$ uwzględnia opuszczone pola ze stanem $L'=1$. Wyraz L'' odczytamy z odwzorowania rys. 157f $L''=xy+l$. Tak więc $L=\bar{w}(xy+l+k\bar{x}\bar{y})$.

Na rysunku 158 przedstawiono schemat układu, sporządzony według ustalonych wyżej wyrażeń strukturalnych. Próby zredukowania któregokolwiek z podwójnych zestyków: k, $\bar{k}$ i $\bar{w}$ kończą się niepowodzeniem. Trzeba więc będzie zdecydować się albo na zastosowanie łączników K i W z dwoma zestykami



Rys. 158. Schemat obwodowy układu z rys. 157

zwiernymi i dwoma rozwiernymi każdy, albo na dodanie przekaźników pośredniczących $Q=k$ oraz $Z=w$, albo wreszcie na redukcję części zestyków przy użyciu blokad diodowych. Przewody 1 i 2 można połączyć ze sobą. Pozwoli to na wykorzystanie zestyków przełączających x-$\bar{x}$ i y-$\bar{y}$.

4. Synteza układu z przekaźnikiem czasowym

Było już wyjaśnione, że przy syntezie układów z przekaźnikiem czasowym, ten ostatni nie może być traktowany w metodzie *Huffmana* jako przekaźnik pośredniczący, ponieważ między wzbudzeniem przekaźnika czasowego (załączeniem urządzenia zegarowego), a przestawieniem jego zestyków upływa czas wielokrotnie dłuższy od czasu trwania taktu przejściowego w przekaźnikach elektromagnetycznych.

Istnieją różne metody uwzględniania zwłoki czasowej w projektowanym układzie, najprościej jednak potraktować sygnał wyjściowy przekaźnika czasowego (przestawienie jego zestyków) jako sygnał wejściowy do danego układu, natomiast obwód załączający urządzenie czasowe (wzbudzenie przekaźnika) jako jeden z obwodów wyjściowych układu. W większości przypadków obwód ten jest elementarnie prosty i nie sprawia żadnej trudności zaprojektowania go metodą indukcyjną. Tak postąpimy w podanym niżej prostym przykładzie, mającym na celu zilustrowanie podanej wyżej zasady.

Przykład 1. Zaprojektować układ sterujący indukcyjnym silnikiem trójfazowym z samoczynnym rozruchem gwiazda-trójkąt. Na rysunku 159a przedstawiono tabelę programu dla tego przykładu. W tabeli tej przyjęto następujące oznaczenia: a — sygnał „start"; t — sygnał przekaźnika czasowego, powodujący po zakończonym rozruchu przełączenie uzwojeń stojana z układu gwiazda w trójkąt; s stycznik załączający silnik do sieci; G — stycznik łączący uzwojenie stojana w gwiazdę; D — stycznik łączący uzwojenie stojana w trójkąt.

a)

	at: 00	01	11	10	SGD
α	(1)	—	—	2	000
β	3	—	—	(2)	110
β	(3)	4	—	(3a)	110
γ	5	(4)	(4a)	—	101
γ	(5)	-	—	(5a)	101

b)

sgd \ at	00	01	11	10	
000	000	—	—	010	α
001	—	—	—	—	
011	—	—	—	—	
010	—	—	—	110	
110	110	100	—	110	β
111	—	—	—	—	
101	101	101	101	101	γ
100	—	101	—	—	

SGD

c)

Rys. 159. Synteza obwodu z przekaźnikiem czasowym: a) tabela programu; b) siatka stanów c) schemat obwodu

Przekaźnik czasowy T powinien zostać załączony jednocześnie z załączeniem uzwojenia w gwiazdę, wyłączony zaś z chwilą wyłączenia stycznika G. Wynika stąd, że $T=g$.

W tabeli programu występują jedynie trzy różne stany wyjść 000, 110 i 101. Aby sprawdzić, czy wiersze z tym samym wyjściem można połączyć w jeden, jak to zaznaczono na marginesie tabeli, nie ma potrzeby rysowania wykresu redukcyjnego. Po narysowaniu siatki przejść (nie pokazanej na rysunku) sporządza się siatkę stanów (rys. 159b), z której można odczytać wyrażenia strukturalne $S=g+s$; $G=a\bar{d}+g\bar{t}$; $D=s\bar{g}$.

Na rysunku 159c przedstawiono schemat układu z przyciskiem „stop" i przeprowadzoną redukcją jednego zestyku s.

Następny przykład syntezy układu sterowania w funkcji czasu jest uzupełnieniem przykładu z rozdziału siódmego (rys. 102-104). Uzupełnienie polega na tym, że sygnał przestawienia wrzeciennika w położenie dolne (doskok) powinien spowodować kolejno wykonanie następujących czynności: 1) wyłączenie posuwu wzdłużnego oraz wzbudzenie elektrozaworu, załączającego luzowanie wrzeciennika; 2) po pojawieniu się sygnału informującego o zluzowaniu wrzeciennika — wzbudzenie elektrozaworu załączającego doskok; 3) po wykonaniu doskoku (konstrukcja obrabiarki nie przewiduje możliwości wysłania sygnału informującego o tym, że wrzeciennik został już przesunięty) — przerwanie obwodu wzbudzenia elektrozaworu luzowania wrzeciennika (załączenie zaciskania); 4) po zaciśnięciu wrzeciennika ponowne uruchomienie posuwu.

Powrót sygnału przestawienia wrzeciennika do wartości 0 powoduje wykonanie podobnego cyklu czynności, prowadzących tym razem do przestawienia wrzeciennika w położenie górne (odskok): 1) jak punkt 1 przy doskoku; 2) po pojawieniu się sygnału informującego o zluzowaniu wrzeciennika — przerwanie obwodu wzbudzenia elektrozaworu doskoku (załączenie napędu odskoku); 3) po wykonaniu odskoku — przerwanie obwodu wzbudzenia elektrozaworu luzowania wrzeciennika (załączenie zaciskania); 4) jak punkt 4 przy doskoku.

Ponieważ, jak podano w założeniach, mechanizm przesuwu wrzeciennika nie jest wyposażony w żaden czujnik, który mógłby informować o tym, czy wrzeciennik znajduje się w położeniu dolnym czy górnym, do przekazania sygnału zaciśnięcia wrzeciennika po jego przestawieniu zostanie wykorzystany przekaźnik czasowy, odmierzający czas od momentu zluzowania wrzeciennika przed jego przestawieniem. Czas ze zrozumiałych względów nie powinien być zbyt długi, nie mniej powinien zapewnić pełne wykonanie przestawienia wrzeciennika z jednego położenia w drugie. Przy napędzie hydraulicznym wystarcza całkowicie jedna sekunda.

Gdy wrzeciennik jest zluzowany, odpowiedni mechanizm przestawia w położenie wymuszone mikrołącznik K_0, gdy zaś wrzeciennik jest zaciśnięty, łącznik K_0 znajduje się w położeniu spoczynkowym ($K_0 = 0$).

Jako sygnał przestawienia wrzeciennika, poprzedzonego wykonaniem omówionych czynności, można wykorzystać przestawienie zestyków przekaźnika D ze wspomnianego przykładu z rozdziału siódmego. Tym razem jednak według założeń każda zmiana wartości sygnału d powinna powodować wyłączenie posuwu, z czego wynika, że w wyrażeniu strukturalnym obwodu D należy usunąć blokadę $\overline{rp}$. Przyjęto zatem obecnie, że $D = (k_3+d)\{k_2[s_1+s_3(d+y)]+s_2k_1\}$.

Sygnał wyjściowy załączenia luzowania i zaciskania wrzeciennika oznaczono przez L($L = 1$ odpowiada luzowaniu, $L = 0$ zaciskaniu wrzeciennika).

Sygnał załączenia napędu doskoku i odskoku wrzeciennika oznaczono przez A ($A = 1$ — wrzeciennik przestawiony w dolne położenie, $A = 0$ — w górne).

Sygnał wyłączania i załączania posuwu oznaczono przez Q_0 ($Q_0 = 0$ posuw wyłączony; $Q_0 = 1$ posuw załączony).

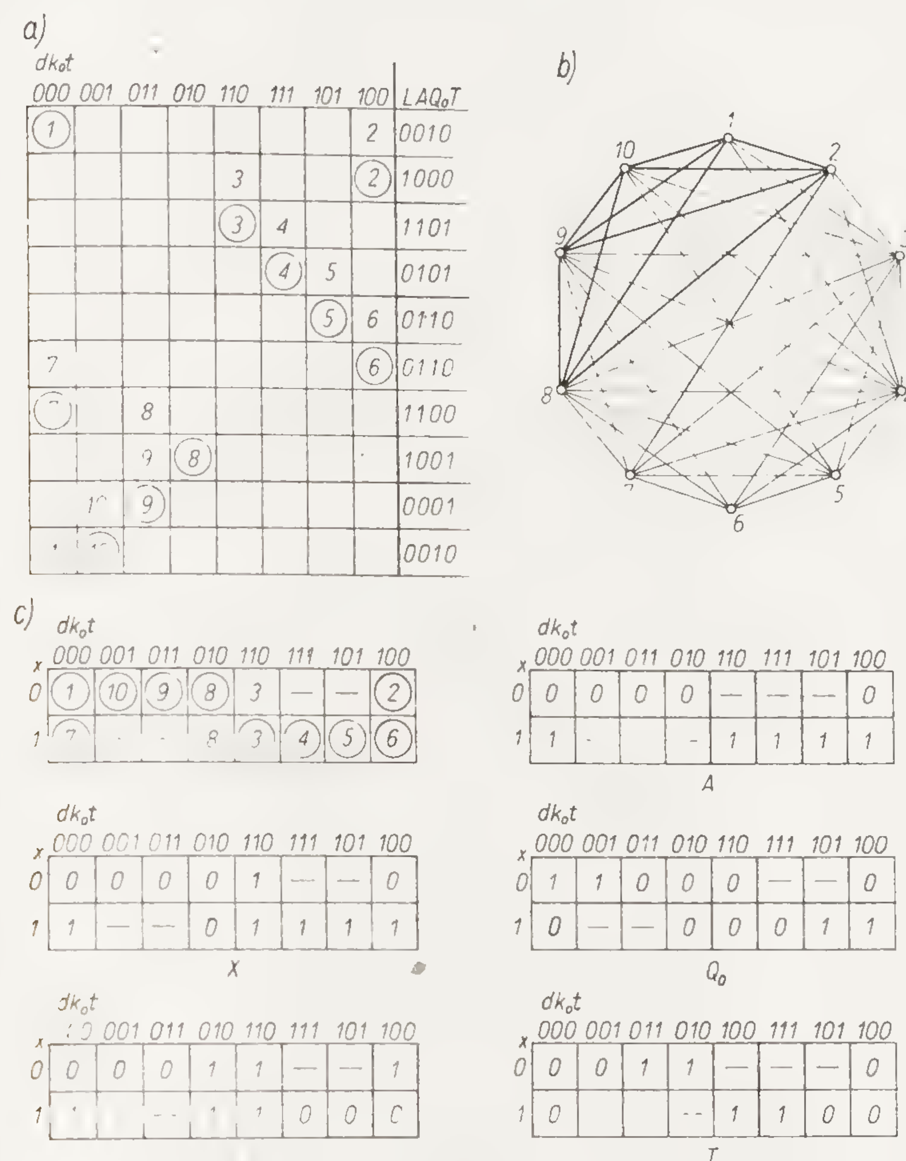
Wreszcie przekaźnik czasowy, a tym samym i sygnał jego załączania, oznaczono T. Literami t i $\bar{t}$ będą oznaczone, jak w przypadku zwykłego przekaźnika, zestyki zwierne i rozwierne przekaźnika czasowego T.

Po wprowadzeniu powyższych oznaczeń można przystąpić do opracowania pełnej tabeli programu (rys. 160a). Sygnałami wejściowymi będą d ($d = 1$ przestawianie wrzeciennika w dolne położenie, $d = 0$ w górne); k_0 ($k_0 = 1$ — wrzeciennik zluzowany; $k_0 = 0$ zaciśnięty) oraz sygnał t.

Zmiana wartości sygnału d z 0 na 1 powoduje zmianę taktu ① na ②. W tym takcie zgodnie z założeniami powinna nastąpić zmiana wartości sygnału L z 0

na 1 oraz sygnału Q_0 z 1 na 0, co notuje się w kolumnie stanów wyjść (załączenie luzowania i wyłączenie posuwu).

O zakończeniu luzowania informuje zmiana wartości sygnału k_0 z 0 na 1. Powoduje to zmianę taktu ② na ③. Jednocześnie zostaje załączony doskok ($A = 1$) oraz przekaźnik czasowy, odmierzający czas, potrzebny do wykonania doskoku ($T = 1$).



Rys. 160. Synteza układu ze sterowaniem w funkcji czasu: a) tabela programu; b) wykres redukcyjny; c) siatki przejść, stanów i wyjść

Po upływie czasu odmierzonego przez przekaźnik T zmienia się wartość sygnału t z 0 na 1, a takt ③ na ④. W tym takcie zostaje załączony napęd zaciskania wrzeciennika (sygnał L zmienia swą wartość z 1 na 0).

Zaciśnięcie wrzeciennika, o czym informuje sygnał $k_0 = 0$, zmienia takt ④ na ⑤. Teraz może już zostać wyłączony przekaźnik czasowy T i uruchomiony posuw ($T = 0$, $Q_0 = 1$). Po chwili zostają przestawione w położenie spoczynkowe zestyki przekaźnika czasowego T, takt ⑤ zmienia się na ⑥ bez zmiany stanu wyjść.

Sytuacja tak trwa dopóty, dopóki $d = 1$. Z chwilą zmiany wartości sygnału d z 1 na 0 rozpoczyna się cykl automatycznych czynności, związanych z powrotem

wrzeciennika do położenia górnego. Przebieg sterowania odskokiem wrzeciennika jest analogiczny do opisanego wyżej sterowania doskokiem, z tą jedynie różnicą, że teraz zamiast sygnału $d = 1$ występuje $d = 0$, a poszczególnym taktom ustalonym odpowiadają przeciwne, niż poprzednio stany wyjścia A. Należy jeszcze zwrócić uwagę, że analogia dotyczy taktów, których numer jest o 5 większy od numeru odpowiedniego taktu przy doskoku. Ze zmianą więc wartości sygnału d na 0 zmienia się takt ⑥ na ⑦, który odpowiada taktowi ②, tym razem z wyjściem 1100.

Na rysunku 160b przedstawiono wykres redukcyjny, z którego wynika, że wszystkie wiersze pełnej tabeli programu można zgrupować w dwa. Jeden z taktami: ①, ②, ⑧, ⑨ i ⑩; drugi z taktami: ③, ④, ⑤, ⑥ i ⑦. Dla większej przejrzystości wykresu zostały w nim mocniej pociągnięte linie, wyznaczające pierwszą grupę.

Wiersze te wpisuje się od razu do siatki przejść, a na jej podstawie wypełnia się siatkę stanów przekaźnika pośredniczącego X oraz siatki wyjść dla obwodów L, A, Q_0 i T (rys. 160c).

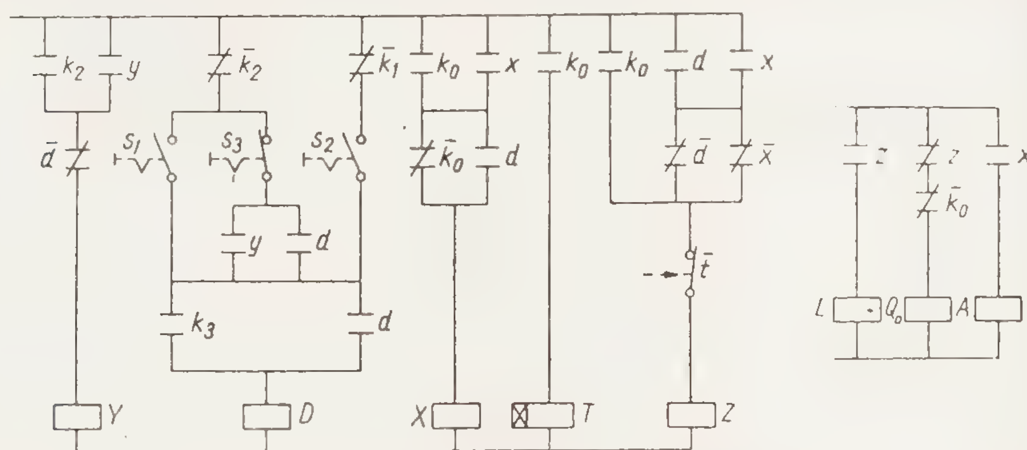
Z siatki stanów X można ustalić wyrażenie strukturalne obwodu wzbudzenia tego przekaźnika

$$X = (d+\bar{k}_0)(k_0+x),$$

a z siatki wyjść — wyrażenia strukturalne obwodów wyjściowych

$$L = [k_0+(d+x)(\bar{d}+\bar{x})]\bar{t}; \qquad A = x; \qquad Q_0 = \bar{k}_0(d+\bar{x})(\bar{d}+x); \qquad T = k_0$$

Ponieważ obwodami wyjściowymi są obwody wzbudzenia elektrozaworów, podane wyżej wyrażenia strukturalne można w zasadzie odnieść bezpośrednio do tych obwodów, nie stosując przekaźników pośredniczących jako wzmacniaczy mocy wyjściowych. Zastrzeżenie może budzić jedynie bezpośrednie wykorzystanie wyrażenia strukturalnego L do obwodu wzbudzenia elektrozaworu, a to z uwagi na występujący w obwodzie L delikatny zazwyczaj zestyk przekaźnika czasowego. Z tego powodu zdecydujemy się na zastosowanie przekaźnika pośredniczącego Z z obwodem wzbudzenia takim, jaki wyznacza wyrażenie strukturalne obwodu L.



Rys. 161. Schematy układu z rys. 160: a) schemat obwodów wzbudzenia przekaźników; b) schemat obwodów wzbudzenia elektrozaworów

$$Z = [k_0+(d+x)(\bar{d}+\bar{x})]\bar{t}; \qquad L = z$$

Po wprowadzeniu przekaźnika Z wyrażenie strukturalne obwodu Q_0 można uprościć. Zwróćmy uwagę, że iloczyn $(d+\bar{x})(\bar{d}+x)$ jest negacją iloczynu $(d+x)(\bar{d}+\bar{x})$, występującego w wyrażeniu strukturalnym obwodu Z. Nasuwa to myśl zastąpienia iloczynu $(d+\bar{x})(\bar{d}+x)$ przez $\bar{z}$. W istocie, z porównania siatek wyjść Q_0 i L wynika, że obwód Q_0 można przedstawić jako $Q_0 = \bar{k}_0\bar{L}$. Ponieważ obwód L i wprowadzony zamiast niego obwód Z są obwodami jednotaktowymi, L można zastąpić przez Z, a Z z kolei — przez $\bar{z}$. Ostatecznie więc otrzymuje się

$$Q_0 = \bar{k}_0\bar{z}$$

Blokada usunięta z obwodu D miała na celu zabezpieczenie przed doskokiem wrzeciennika, zanim nie zatrzyma się posuw. W obecnym rozwiązaniu przestawienie wrzeciennika może mieć miejsce jedynie wtedy, gdy jest on zluzowany, a więc, gdy $L = 1$. Wtedy zaś $\bar{z} = 0$ i obwód Q_0 jest przerwany, a więc posuw wyłączony. Na rysunku 161 przedstawiono schemat obwodu wejściowego D, obwodu przekaźnika pamięci Y oraz obwodów wzbudzenia przekaźników pośredniczących X, T, Z i obwodów wyjściowych L, Q_0 i A.

Rozdział dziesiąty

Synteza wielotaktowych układów sterowania o dużej liczbie elementów sterowania

Przy projektowaniu wieloobwodowych układów sterowania, obejmujących znaczną liczbę elementów sterowania i obsługi oraz obwodów wyjściowych, metoda *Huffmana* zaczyna tracić przejrzystość i staje się niewygodna, a nieraz wręcz nieprzydatna do praktycznego wykorzystania. Trudno jest bowiem wybrać na podstawie wykresu redukcyjnego optymalną postać zredukowanej tabeli programu, jeżeli pełna tabela obejmuje ponad dwadzieścia wierszy, a wykres składa się z dziesiątków linii.

W przypadku projektowania bardziej skomplikowanego układu sterowania automatycznego obrabiarki nie przeprowadza się syntezy całego układu „en bloc", lecz dzieli się go uprzednio na fragmenty, stanowiące układy funkcjonalnie oddzielne. W praktyce stosuje się zwykle podział układu sterowania całej obrabiarki na układy sterowania poszczególnych jej napędów. Do takich fragmentów większej całości należy właśnie znaczna część przykładów syntezy omawianych w rozdziale siódmym i dziewiątym.

Tak wydzielone fragmenty całości nie są jednak zwykle całkowicie niezależne funkcjonalnie. Zwłaszcza w obrabiarkach o dużym stopniu automatyzacji, pracujących w tak zwanych „cyklach automatycznych" funkcje sterowania poszczególnych napędów są między sobą powiązane wspólnym programem sterowania danego cyklu pracy maszyny. Uwzględnienie takich powiązań podczas syntezy układu sterowania danego napędu jest stosunkowo łatwe w przypadku blokad.

Człony obwodów, przewidziane do realizacji ustalonych w założeniach blokad, opracowuje się metodami syntezy obwodów jednotaktowych, a następnie włącza się do odpowiedniego obwodu sterowania, zaprojektowanego w pierwszej wersji bez uwzględnienia tych blokad. Inne powiązania funkcjonalne między oddzielnymi napędami mają często charakter jednostronny i ściśle określony. W pewnym takcie sterowania jednego napędu (nazwijmy go napędem *A*) przekazuje on sygnał wejściowy do układu sterowania innego napędu *B*. W tabeli programu napędu *B* wystarczy wtedy uwzględnić ten właśnie sygnał wejściowy.

1. Uproszczone siatki stanów

Wiadomo, że każdy dodatkowy sygnał wejściowy podwaja liczbę kolumn tabeli programu, a pośrednio poważnie zwiększa również liczbę jej wierszy. Tak więc przy projektowaniu każdego większego układu, nawet rozłożonego na oddzielne fragmenty, dochodzą do głosu trudności syntezy wspomniane na początku rozdziału. Okazuje się jednak, że trudności te, występujące w klasycznej metodzie *Huffmana*, można zmniejszyć właśnie w tych przypadkach, gdy projektowany układ jest przeznaczony do sterowania obrabiarki pracującej w cyklach

automatycznych, podczas których sygnały wejściowe są przekazywane do układu wyłącznie przez elementy sterowania w funkcji drogi lub czasu, a rola obsługującego ogranicza się w procesie sterowania do uruchomienia oraz — i to nie zawsze — zatrzymania cyklu pracy. Układy takie stanowią grupę występującą dość często w automatyce obrabiarkowej, można przy tym zaobserwować tendencję do coraz powszechniejszego ich stosowania. Otóż przy sterowaniu w funkcji drogi, podobnie jak i w funkcji czasu, sygnały wejściowe wchodzą do układu sterowania w jednej, lub najwyżej w paru ściśle określonych sekwencjach, powodując również ściśle określoną sekwencję zmian stanu wyjść układu. Przy większej liczbie zmiennych (sygnałów wejściowych i wyjściowych) daje to w rezultacie siatkę przejść i siatkę stanów, w których całe kolumny i wiersze składają się wyłącznie z pól o stanach obojętnych.

Przykład takiej siatki stanów podano na rys. 162a. Jak widać, na osiem wierszy siatki dwa (011 i 111), a na szesnaście kolumn aż jedenaście składa się z pól o stanach obojętnych. Przerysowując siatkę z opuszczeniem pól i kolumn ze stanami obojętnymi otrzymuje się tak zwaną siatkę uproszczoną, obejmującą zaledwie trzydzieści pól zamiast stu dwudziestu ośmiu pól siatki pełnej (rys. 162b). Pamiętając, że we wszystkich opuszczonych polach znajdują się stany obojętne, przy pewnej wprawie można układać wzory strukturalne obwodów wzbudzenia przekaźników pośredniczących posługując się jedynie siatką uproszczoną.

a) abcd

xyz	0000	0001	0011	0010	0110	0111	0101	0100	1100	1101	1111	1110	1010	1011	1001	1000
000	—	000	—	—	—	—	—	—	110	—	—	—	—	—	—	000
001	—	101	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	000
011	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
010	010	101	—	010	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
110	110	101	—	010	—	—	—	—	110	—	—	—	—	—	—	110
111	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
101	101	101	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	000
100	—	101	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	000

XYZ

b) abcd

xyz	0000	0001	0010	1100	1000
000	—	000	—	110	000
001	—	101	—	—	000
010	010	101	010	—	-
110	110	101	010	110	110
101	101	101	—	—	000
100	—	101	—	—	000

XYZ

Rys. 162. Siatki stanów: a) pełna, b) uproszczona

Korzystanie z siatek uproszczonych zamiast pełnych wtedy jest celowe, gdy siatka pełna obejmuje dużą liczbę kolumn i wierszy. W tych jednak przypadkach również oznaczanie kolumn i wierszy wielobitowymi symbolami staje się mało czytelne. Dlatego też wprowadzimy następującą zmianę systemu notacji stanów wejść pierwotnych i wtórnych. Każdą kolumnę (wiersz) oznacza się literowymi symbolami tych tylko sygnałów, które w danej kolumnie (wierszu) mają wartość 1. Sygnałów zerowych nie notuje się. Jeżeli w danym oznaczeniu wszystkie sygnały mają wartość 0, to w nowej notacji piszemy 0. Konsekwencją przyjęcia powyższej umowy będzie wypełnianie pól w siatkach stanów wzbudzenia dużymi literami, odpowiadającymi obwodom wzbudzonym w danym takcie.

Na rysunku 163a powtórzona jest siatka stanów z rys. 162b po wprowadzeniu nowej notacji. Na rys. 163b przedstawiono siatkę stanów przekaźnika *X*, sporządzoną na podstawie ogólnej siatki stanów z rys. 163a. Nietrudno zorientować się w sposobie wypełniania siatki stanów jednego przekaźnika: w tych polach,

w których w siatce ogólnej występuje X, w siatce stanów przekaźnika X wpisuje się 1; w polach, w których w siatce ogólnej nie występuje X, lecz występują inne litery (lub 0) — wpisuje się w nowej siatce 0; wreszcie polom pustym siatki ogólnej (stan obojętny wszystkich przekaźników) odpowiadają również puste pola nowej siatki.

a)

	0	d	c	ab	a
0		0		XY	0
z		XZ			0
y	Y	XZ	Y		
xy	XY	XZ	Y	XY	XY
xz	XZ	XZ			0
x		XZ			0

XYZ

b)

	0	d	c	ab	a
0		0		1	∅
z		1			∅
y	∅	1	∅		
xy	1	1	0	1	1
xz	1	1			0
x	1	1			0

X

Rys. 163. Siatki z rys. 162 z opisem kolumn i wierszy w notacji literowej: a) siatka stanów; b) siatka stanów wzbudzenia przekaźnika X

Na przykładzie siatki przedstawionej na rys. 163b będzie wyjaśniona technika ustalania wyrażeń strukturalnych z uproszczonej siatki stanów. Podczas tej pracy należy stale pamiętać, że: a) pełne oznaczenie każdej kolumny lub wiersza wymaga uzupełnienia go brakującymi literami ze znakiem negacji (tak np. pełnym oznaczeniem drugiego wiersza siatki będzie $\bar{x}\bar{y}z$); b) wszystkim polom opuszczonych kolumn i wierszy odpowiadają stany obojętne. Wynika z tego, że wystarczającym określeniem wiersza (kolumny) jest takie, które zawierając minimum liter nie będzie obejmowało żadnego innego wiersza (kolumny) spośród występujących w danej siatce. Tak np. wystarczającym oznaczeniem wspomnianego już drugiego wiersza siatki $\bar{x}\bar{y}z$ będzie $\bar{x}z$, ponieważ wiersz ten został w siatce oznaczony jedną literą z, a litera ta występuje jeszcze tylko w wierszu drugim od dołu, oznaczonym przez xz. Oznaczając wiersz przez $\bar{x}z$ zastrzegamy jak gdyby, że oznaczenie to nie obejmuje wiersza xz. Inaczej rozumując można powiedzieć, że oznaczenie $\bar{x}z$ obejmuje wiersz $\bar{x}\bar{y}z$ i $\bar{x}yz$, z których pierwszy jest właśnie wierszem określanym, drugi zaś obejmuje wyłącznie pola ze stanami obojętnymi, skoro nie występuje w uproszczonej siatce.

Ustalenie wyrażenia strukturalnego obwodu X, złożonego z podgrup zerowych, należy niewątpliwie zacząć od trzeciego pola pierwszej kolumny. Pole to można włączyć do grupy, obejmującej pierwsze trzy wiersze z wyłączeniem kolumn drugiej i czwartej. W oznaczeniach wspomnianych trzech wierszy brak jest litery x, występującej w pozostałych wierszach siatki. Literą $\bar{x}$ można więc wiersze te określić w sposób jednoznaczny. Podobnie druga kolumna będzie jednoznacznie określona literą d, czwarta zaś — literą b. Wyznacza to podgrupę zerową $(x+b+d)$, obejmującą te pola zerowe, w których na rys. 163b zera zostały przekreślone. Pole zerowe w kolumnie d wchodzi do podgrupy $(x+y+z+b)$, obejmującej pola pierwszego wiersza, z wyjątkiem pola jedynkowego w kolumnie ab. Pozostałe pola zerowe należą do podgrup $\bar{c}$ (cała trzecia kolumna) i $(\bar{a}+b+y)$, obejmującej wszystkie pola zerowe kolumny a. Tak więc

$$X = \bar{c}(\bar{a}+b+y)(x+y+z+b)(x+b+d) = \bar{c}\{b+[y+\bar{a}(x+z)](x+d)\} = \bar{c}\{b+(\bar{a}+y)[x+d(y+z)]\}$$

Wyrażenie strukturalne tego samego obwodu, złożone z podgrup jedynkowych, ma postać

$$X = b+d(y+z)+[x-(c+a\bar{y})] = b+d(y+z)+\bar{c}(\bar{a}+y)x$$

Podobny sposób rozumowania prowadzi do następujących wyrażeń strukturalnych obwodów Y i Z

$$Y = (b+y)\bar{d}; \qquad Z = \bar{a}[d(x+y)+z]$$

Można również wydzielić wspólną podgupę zerową dla wszystkich trzech obwodów, obejmującą pola zerowe siatki ogólnej (rys. 163a). Podgrupą tą jest

$$(\bar{a}+b+y)(x+y+z+b) = [b+y+\bar{a}(x+z)],$$

a wtedy

$$X = [b+y+\bar{a}(x+z)](x+b+d)\bar{c}; \qquad Y = [b+y+\bar{a}(x+y)]\bar{d}\bar{z};$$

$$Z = [b+y+\bar{a}(x+z)](d+z)$$

Jak więc z tego przykładu widać, siatki uproszczone umożliwiają ustalenie wyrażeń strukturalnych poszczególnych obwodów, tak samo jak i siatki pełne.

2. Sporządzanie opisowej tabeli programu

Ułatwienie syntezy przez wykorzystanie siatek uproszczonych nie będzie jednak pełne, jeżeli jednocześnie nie zastosuje się takiego sposobu opracowywania tabeli programu, który prowadziłby od razu do tabeli zredukowanej albo przynajmniej częściowo zredukowanej (w zakresie odpowiadającym wyjściom stycznikowym).

Najwygodniej jest tabelę taką sporządzać łącznie z krótkim opisem poszczególnych taktów ustalonych[1]). W tabeli takiej, którą nazwiemy opisową tabelą programu, oznacza się jednakowymi numerami te takty ustalone, które napewno będzie można umieścić w jednym wierszu. W danym cyklu pracy pierwszy takt wiersza zostaje oznaczony samym numerem np. 3, pozostałe takty tego wiersza — tym samym numerem z dopisaną małą literą alfabetu np. 3a, 3b itd.

We wspólnym wierszu można zawsze umieścić takie, kolejno po sobie następujące takty ustalone, które odpowiadają różnym, nie powtarzającym się stanom wejść i w których stan wyjść pozostaje niezmieniony. Nie uważa się przy tym za powtórzenie stanu wejść, jeżeli dwa jednakowe stany wejść są przedzielone stanem różniącym się od nich wartością sygnału biernego. Przypominamy, że sygnałem biernym nazwano sygnał, który nie wprowadza żadnych zmian do stanu wyjść a więc taki, który również dobrze mógłby w danym momencie nie występować. Przykładem takiego sygnału może być przestawienie przy posuwie w lewo łącznika drogowego, przeznaczonego do wyłączania szybkiego posuwu przy ruchu w prawo.

W wyniku rozmieszczenia taktów ustalonych według podanych wyżej zasad powinno się otrzymać tabelę programu zredukowaną w zakresie wymaganym dla układów z wyjściami stycznikowymi; w przypadku wyjść przekaźnikowych można zwykle przeprowadzić dalszą redukcję tabeli programu.

[1]) Pomysł omówionej w tym rozdziale metody syntezy zaczerpnął autor u *C. Polgara*. Zasadniczymi, oryginalnymi zmianami w stosunku do metody *Polgara* jest wprowadzenie literowego opisu siatek, pominięcie w tabeli programu taktów przejściowych, podawanie w polach siatek stanów wzbudzenia przekaźników, a nie — jak proponuje *Polgar* — stanów ich zestyków zwiernych, wreszcie opracowywanie tabeli programu od razu w postaci zredukowanej.

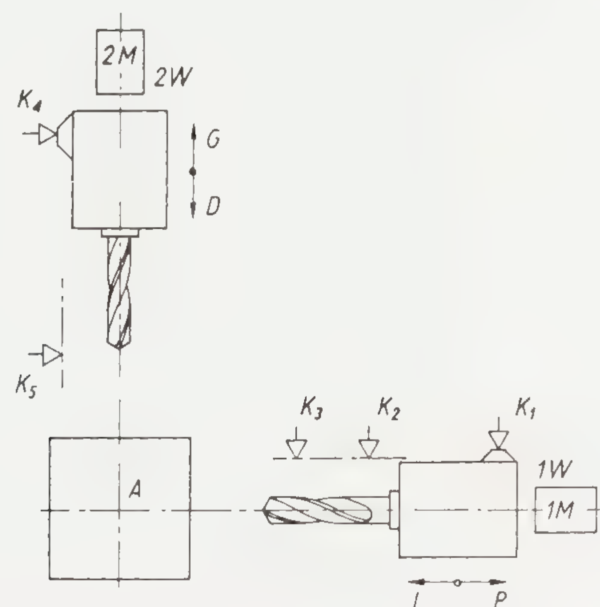
Stany wejść i stany wyjść będą w opisowej tabeli programu podawane w takiej notacji literowej, jak ustalono wyżej dla opisu siatek stanów.

Podane zasady opracowywania opisowej tabeli programu zostaną, jak zwykle, bliżej wyjaśnione przy rozwiązywaniu przykładów.

3. Układy z wyjściami stycznikowymi

3.1. Układ bez przekaźników pośredniczących

Przykład 1. Zaprojektować układ sterowania posuwami agregatu, złożonego z dwóch jednostek *1W* i *2W* (rys. 164), wiercących w przedmiocie *A* dwa otwory o osiach, krzyżujących się w tej samej płaszczyźnie. Aby uniknąć spotkania się narzędzi na skrzyżowaniu, należy w programie sterowania założyć, że jednostka *1W* po rozpoczęciu obróbki zatrzymuje się, nie dochodząc do skrzyżowania (gdy dojdzie do łącznika drogowego K_2). W tym położeniu odczekuje, aż jednostka *2W* zakończy swą pracę, dojdzie do łącznika krańcowego K_5, a następnie wycofa się do położenia wyjściowego, w którym zostanie naciśnięty łącznik krańcowy K_4. Będzie to sygnałem wznowienia obróbki przez jednostkę *1W*. Jednostka ta po dojściu do łącznika krańcowego K_3 wycofuje się do swego położenia wyjściowego, w którym naciska na łącznik K_1 i daje sygnał zakończenia cyklu pracy agregatu.



Rys. 164. Schemat sytuacyjny rozmieszczenia jednostek wiertarskich do przykładu 1

Powyższy przykład został uproszczony zgodnie z podanymi na początku rozdziału zaleceniami rozbijania układu złożonego na układy fragmentaryczne. Przykład ten nie obejmuje sterowania zmianą prędkości posuwu z szybkiego na roboczy, ani też załączania i wyłączania napędu wrzecion wiertarek. Uzupełnienie układu o te napędy jest proste.

Przed przystąpieniem do opracowania opisowej tabeli programu należy ustalić oznaczenia literowe łączników i styczników, a tym samym — sygnałów wejściowych i wyjściowych. Ze szkicu (rys. 164) można odczytać oznaczenia łączników drogowych. Pozostaje ustalić oznaczenia literowe przycisku „start", uruchamiającego cykl pracy oraz styczników, niezbędnych do załączania i wyłączania posuwów jednostek. Oznaczmy przycisk „start" literą *B*, styczniki zaś literami

L, *P*, *D* i *G*. Styczniki te załączają posuwy w zwrotach, pokazanych na szkicu strzałkami (np. stycznik *P* załącza posuw w prawo jednostki *1W*).

Opisowa tabela programu (tabl. 5) będzie obejmowała cztery kolumny.

Tabela 5.

Takt	Stan układu	Sygnały	
		wejściowe	wyjściowe
1	stan wyjściowy I (1)	$k_1 k_4$	*O*
1a	stan wyjściowy II (2)	k_1	*O*
2	uruchomienie cyklu ze stanem wyjściowym I (3)	$k_1 k_4 b$	*DL*
2a	uruchomienie cyklu ze stanem wyjściowym II (4)	$k_1 b$	*DL*
2b	przycisk *B* zwolniony, obie jednostki opuściły swe pozycje wyjściowe (5)	*O*	*DL*
3	jednostka *1W* doszła do K_2 (6)	k_2	*D*
4	jednostka *2W* doszła do K_5 (7)	$k_2 k_5$	*G*
4a	jednostka *2W* wycofała się z K_5 (6)	k_2	*G*
5	jednostka *2W* wróciła do pozycji wyjściowej (8)	$k_2 k_4$	*L*
5a	jednostka *1W* opuściła stanowisko wyczekiwania (9)	k_4	*L*
6	jednostka *1W* doszła do K_3 (10)	$k_3 k_4$	*P*
6a	jednostka *1W* wycofała się z K_3 (9)	k_4	*P*
6b	jednostka *1W* podczas wycofania naciska K_2 (8)	$k_2 k_4$	*P*
7 = 1	powrót *1W* do pozycji wyjściowej, zakończenie cyklu pracy (1)	$k_1 k_4$	*O*

W pierwszej notuje się kolejny numer taktu ustalonego, w drugiej podaje się opis słowny danego taktu, w trzeciej — stan wejść i w czwartej — stan wyjść w tym takcie. Ponieważ w tabeli będą notowane wyłącznie takty ustalone można bez obawy o wprowadzenie niejednoznaczności pominąć obwodzenie numerów taktów ustalonych kółkami, jak to stosowało się przy opracowywaniu tabeli programu w klasycznej metodzie *Huffmana* i jak będzie stosowane nadal, gdy takie rozróżnienie okaże się celowe.

Wypełnianie opisowej tabeli programu rozpoczyna się zawsze od stanu wejść i wyjść, odpowiadających sytuacji tuż przed uruchomieniem obrabiarki. Takt ten otrzymuje numer *1*. W rozpatrywanym przykładzie odpowiada mu stan wejść k_1k_4 (obie jednostki w położeniu wyjściowym, łączniki K_1 i K_4 naciśnięte). Załóżmy, że pracę w cyklu automatycznym będzie można również rozpocząć wtedy, gdy jednostka *2W* nie znajduje się w położeniu wyjściowym (łącznik K_4 jest w położeniu spoczynkowym). Stosownie do takiego założenia tabeli programu trzeba wpisać dodatkowo takt *1a*, którego zapis w tabeli będzie różnił się jedynie kolumną trzecią, dla taktu *1a* bowiem zapis stanu wejść zmienia się na k_1. W obu taktach w kolumnie czwartej notujemy taki sam stan wyjść „0" (żaden stycznik nie jest jeszcze załączony).

Kolejny takt ustalony takt *2* odpowiada sytuacji, gdy nie zmieniły się jeszcze sygnały wejściowe, pochodzące od łączników drogowych, a tylko pojawił się

sygnał startu b. W drugiej kolumnie taktu *2* notujemy więc „uruchomienie cyklu", a w kolumnie trzeciej k_1k_4b. W czwartej kolumnie należy wpisać *DL* (załączenie styczników posuwu jednostki *1W* w lewo i jednostki *2W* w dół). Ponieważ uruchomienie cyklu może nastąpić również z taktu *1a*, należy uwzględnić jeszcze takt *2a*, dla którego w trzeciej kolumnie zanotujemy k_1b, zostawiając wypełnienie pozostałych kolumn takie, jak dla taktu *2*.

Wkrótce po starcie obie jednostki opuszczą swe pozycje wyjściowe, a obsługujący zwolni nacisk na przycisk *B*. Wtedy wszystkie sygnały wejściowe będą miały wartość 0 i dla tego taktu *2b* wpiszemy w trzeciej kolumnie 0, w czwartej zaś tak jak dla taktu *2* i *2a* zanotujemy *DL*. Pomijając mało prawdopodobny przypadek jednoczesnej zmiany wartości wszystkich trzech sygnałów k_1, k_4 i b z 1 na 0, między taktem *2* ze stanem wejść k_1k_4b, a taktem *2b* ze stanem wejść 0, wystąpią jeszcze dwa pośrednie takty ustalone, odpowiadające dwom spośród sześciu możliwych stanów wejść k_1b, k_4b, k_1k_4, k_1, k_4, b. Nie sposób jednak przewidzieć, które z podanych stanów wejść wystąpią i w jakiej kolejności będą się zmieniały.

W siatce przejść należy uwzględnić wszystkie możliwe takty pośrednie, jeżeli tylko siatka obejmuje kolumny z odpowiednimi stanami wejść. Nie bierze się pod uwagę tych taktów pośrednich, których stany wejść nie są uwzględnione w uproszczonej siatce przejść. Ponieważ ustalenie kolumn uproszczonej siatki przejść następuje dopiero po opracowaniu tabeli programu, można nie uwzględnić omawianych taktów pośrednich w tabeli programu, lecz dopiero w siatce przejść. Takty te nie wprowadzają żadnych zmian w stanie wyjść, otrzymają więc taki sam numer, jak takt wyjściowy i końcowy danej sekwencji zmian sygnałów wejściowych (w rozpatrywanym przypadku nr 2).

Po ostatnim takcie *2b* ze stanem wejść 0 i wyjść *DL* najbliższą zmianę stanu wejść wprowadzi sygnał k_2, gdy jednostka *1W* dojdzie do stanowiska wyczekiwania na zakończenie pracy przez jednostkę *2W*. Sygnał ten powinien wyłączyć posuw jednostki *1W*, a więc zmienić stan wyjść; odpowiadający mu takt ustalony otrzyma zatem numer *3*. W drugiej kolumnie tabeli zanotujemy w takcie *3* „jednostka *1W* doszła do K_2". W kolumnie trzeciej wpiszemy k_2, wreszcie czwartej *D*.

Takt *3* trwa bez zmian do chwili, gdy jednostka *2W* dojdzie do dolnego położenia krańcowego i naciśnie na łącznik K_5. Spowoduje to zmianę zwrotu posuwu tej jednostki, a więc po takcie *3* trzeba wpisać takt *4* z wejściem k_2k_5 i wyjściem *G*. W kolumnie drugiej zanotujemy „jednostka *2W* doszła do K_5". Po chwili jednostka *2W* zwalnia nacisk na K_5, stan wyjść pozostaje bez zmian. Zanotujemy to jako takt *4a*.

Dalszy przebieg wypełniania tabeli programu nie wymaga już wyjaśnień. Należy jedynie zwrócić uwagę na takt *6b*, w którym pojawia się bierny sygnał k_2. Chociaż więc w następnym takcie powraca taki sam stan wejść k_4, jaki występował w poprzednim takcie *6a*, nie traktuje się tego jako powtórzenie się stanu wejść (zgodnie z przyjętą zasadą), co zmuszałoby do zmiany numeru taktu z 6 na 7, lecz jako powrót do poprzedniego taktu *6a*.

Po takcie *6b* (a właściwie po powtórnym takcie *6a*) następuje takt *7*, ostatnia z jednostek *1W* powraca do pozycji wyjściowej, naciskając na łącznik K_1 i kończąc tym cykl pracy. Cały układ powraca do stanu wyjściowego w takcie *1*, w pierwszej kolumnie taktu *7* notujemy więc $7 \equiv 1$.

Tak opracowaną opisową tabelę programu uzupełnimy jeszcze zanotowaniem w drugiej kolumnie, w nawiasach, kolejnych numerów stanów wejść. Po numerze *7* w takcie *4* w następnym takcie *4a* wpisujemy numer *6*, ponieważ stan wejść w tym takcie jest identyczny ze stanem wejść w takcie *3*, oznaczonym już numerem

6. Numeracja taka ułatwia przejście z omówionej wyżej tabeli do zredukowanej uproszczonej tabeli programu, wypełnionej podobnie jak w metodzie *Huffmana* (rys. 165a). Będzie ona miała dziesięć kolumn tj. tyle, ile różnych stanów wejść określonych w tabeli 5. Nad kolumnami zanotowano literowe symbole stanów wejść i ich numery. W odpowiednich kolumnach pierwszego wiersza tabeli zredukowanej wpisujemy takty ustalone z numerem ① (tym razem obwiedzione już kółkami), w drugim wierszu takty z numerem ② itd. Tę właśnie czynność ułatwia uprzednie ponumerowanie stanów wejść.

a)

	(1) k_1k_4	(2) k_1	(3) k_1k_4b	(4) k_1b	(5) 0	(6) k_2	(7) k_2k_5	(8) k_2k_4	(9) k_4	(10) k_3k_4
0	(1)	(1a)	2	2a	(1b)	(1c)	4		(1d)	6
dL	(2c)	(2d)	(2)	(2a)	(2b)	3			(2e)	
d			2	2a		(3)	4			
g						(4a)	(4)	5		
l								(5)	(5a)	6
P	1							(6b)	(6a)	(6)

b)

	k_1k_4	k_1	k_1k_4b	k_1b	0	k_2	k_2k_5	k_2k_4	k_4	k_3k_4
0	0	0	0	D	0	0	G	L	0	P
dL	DL	DL	DL	DL	DL	D			DL	
d			DL	DL		D	0			
l								L	L	0
g						G	G	L		
P	0							P	P	P

DLGP

c)

	k_1k_4	k_1	k_1k_4b	k_1b	0	k_2	k_2k_5	k_2k_4	k_4	k_3k_4
0	0	0	0	0	0	Ø	Ø	1	0	Ø
dL	1	1	1	1	1	Ø			1	
d			1	1		Ø	Ø			
L								1	1	Ø
g						Ø	Ø	1		
P								Ø	Ø	Ø

L

d)

dl \ k_2k_4	00	01	11	10
00	0	0	1	0
01	1	1	1	0
11	1	1	1	0
10	1	1	1	0

Rys. 165. Synteza układu sterowania jednostkami: a) uproszczona tabela programu; b) uproszczona siatka stanów; c) uproszczona siatka stanów wzbudzenia stycznika *L*; d) pomocnicze odwzorowanie części wyrażenia strukturalnego

Pozostaje jeszcze dopisać w wierszu drugim poprzednio opuszczone takty pośrednie. Otrzymają one oznaczenia (2c) do (2d).

Następną czynnością jest wpisanie taktów przejściowych. Jedynie między wierszem pierwszym i drugim są dwa przejścia (takty *2* i *2a*), między pozostałymi wierszami występują już tylko przejścia pojedyncze, prowadzące zawsze do taktu oznaczonego numerem bez litery.

Rzut oka na tak wypełnioną zredukowaną tabelę programu pozwala stwierdzić, że można by ją jeszcze zredukować, łącząc wiersz trzeci z drugim, czwarty z piątym i szósty z pierwszym. Taka redukcja prowadzi jednak do układu z wyjściami przekaźnikowymi, naszym zadaniem zaś jest opracowanie układu z wyjściami stycznikowymi. Warunek ten pozwala od razu potraktować tabelę programu z rys. 165a jako siatkę przejść. Wystarczy w tym celu opisać jej wiersze tymi samymi literami, które wyznaczają stany wyjść w taktach ustalonych, leżących w tych właśnie wierszach. Do oznaczenia wierszy stosujemy oczywiście litery małe.

Po zmienieniu w taki sposób zredukowanej tabeli programu w siatkę przejść

należy jeszcze sprawdzić zapisy przejść z wyścigiem. W uproszczonych siatkach przejść i siatkach stanów obowiązuje ta sama zasada, co w siatkach pełnych; adres docelowy przejścia z wyścigiem należy powtarzać we wszystkich polach, przez które wyścig prowadzi. W uproszczonych siatkach zasada ta jednak nie rozciąga się na pola, leżące w wierszach opuszczonych.

W rozpatrywanym przykładzie występują cztery przejścia z wyścigiem między taktem ① i ②, między taktem ③ i ④, taktem ④ i ⑤, a wreszcie między taktem ⑤ i ⑥. Zasadniczo nic nie stoi na przeszkodzie, by przejście z taktu ① do taktu ② poprowadzić z wyścigiem, jednak takie przejście wymaga, aby naciśnięcie przycisku B załączało jednocześnie stycznik D i stycznik L, a to oznacza, że w obu tych obwodach będzie występować zestyk zwierny przycisku B. Aby uniknąć stosowania dwóch zestyków zwiernych przycisku „start" należy poprowadzić przejście z taktu ① do ② (i z taktu (1a) do (2a)) bez wyścigu np. przez wiersz d, tak jak pokazano strzałkami na rys. 165a. Wtedy przycisk B będzie załączał jedynie wzbudzenia stycznika D, natomiast obwód stycznika L zostanie zamknięty przez zestyk d.

Ponieważ opracowujemy układ z wyjściami stycznikowymi, nie powinniśmy dopuścić do sytuacji, w której choć przez chwilę byłyby jednocześnie załączone pary styczników, sterujących obwodami mocy tego samego silnika, a więc styczniki D i G oraz L i P. Wynika z tego, że przejścia z taktu ③ do ④ i z taktu ⑤ do ⑥ nie mogą prowadzić do wyścigu. Oba te przejścia trzeba więc będzie poprowadzić przez wiersz 0 (oba styczniki wyłączone), jak pokazano strzałkami. Przypominamy, że taki przebieg sterowania wymaga zastosowania w układzie przekaźnika zanikowego.

Ostatniemu przejściu z równoczesną zmianą stanu wzbudzenia dwóch styczników (z taktu ④ do ⑤) może towarzyszyć wyścig nie krytyczny. Przejście to zostało w taki sposób zaznaczone w siatce przejść.

Ostatnią czynnością przy opracowywaniu siatki przejść jest wpisanie dodatkowych taktów numer *1* w nie zajętych jeszcze polach pierwszego wiersza. Ma to na celu ograniczenie do minimum tych położeń jednostek wiertarskich, z których ruszają one samoczynnie z chwilą załączenia przekaźnika zanikowego. Takty te otrzymały oznaczenia (1b) do (1d).

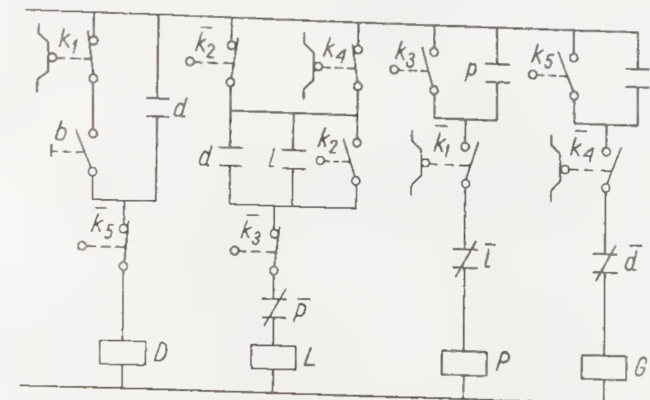
W siatce stanów (rys. 165b) sporządzonej na podstawie omówionej siatki przejść, wiersze g i l zamieniono miejscami. Ma to na celu ułatwienie określanie podgrup wyrażenia strukturalnego obwodu wzbudzenia stycznika L.

Na rysunku 165c przedstawiono siatkę stanów stycznika L. Wyrażenie strukturalne tego obwodu najlepiej wyznaczyć metodą mieszaną, wypisując najpierw podgrupy zerowe, odpowiadające trzem kolumnom i jednemu wierszowi, w których nie ma żadnych pól ze stanem $L = 1$. Dla kolumn k_2 i k_2k_5 będzie to negacja iloczynu $k_2\bar{k}_4$, a więc $(\bar{k}_2+k_4)$; ostatnią kolumnę określa jednoznacznie litera k_3, a więc odpowiadającą jej podgrupą zerową jest $\bar{k}_3$, wreszcie ostatnią podgrupą zerową jest $\bar{p}$ (ostatni wiersz siatki). Po wyznaczeniu iloczynu $(\bar{k}_2+k_4)\bar{k}_3\bar{p}$ można w polach objętych tym wyrażeniem przekreślić zera i traktować je jako pola ze stanami obojętnymi. Wszystkie pola ze stanem 1 obwodu L można teraz ująć w dwie podgrupy, na rys. 165c obwiedzione linią. Podgrupy te wyznaczają sumę k_2k_4+l+d. Wyrażeniem strukturalnym obwodu wzbudzenia stycznika L będzie więc $L = \bar{p}\bar{k}_3(\bar{k}_2+k_4)(k_2k_4+l+d)$.

W wyrażeniu tym powtarza się litera k_4, oznaczająca zestyk zwierny łącznika drogowego K_4. Ponieważ wyrażenie strukturalne uzyskano z uproszczonej siatki stanów, nie jest wykluczone, że istnieje dalsza możliwość zminimalizowania wyrażenia. Najłatwiej można to sprawdzić odwzorowując iloczyn $(\bar{k}_2+k_4)(k_2k_4+$

$+l+d)$ w siatce *Karnaugha* (rys. 165d), i ponownie wyznaczając z tego odwzorowania wyrażenie złożone z podgrup zerowych $(\bar{k}_2+k_4)(k_2+l+d)$. Wyrażenie strukturalne obwodu L można więc zminimalizować do postaci $L = \bar{p}\bar{k}_3(\bar{k}_2+$ $+k_4)(k_2+l+d)$.

Do wyrażenia strukturalnego obwodu wzbudzenia stycznika D wejdzie podgrupa jedynkowa, obejmująca pola z taktami (przejściowymi i ustalonymi) nr *2* i *2a*. Podgrupę tę można określić jako k_1b, a nawet wprost jako b, ponieważ litera b nie występuje w oznaczeniu żadnej innej kolumny. Podgrupa ta wprowadza sygnał załączenia stycznika D na początku cyklu. Jeżeli określić ją jedną tylko



Rys. 166. Schemat układu do przykładu 1

literą b, to oznacza, że cykl można uruchomić bez względu na położenie jednostek wiertarskich; jeżeli zaś określić iloczynem k_1b to w ten sposób uwzględnia się warunek określony w założeniach, w myśl którego obrabiarkę można uruchomić jedynie wtedy, gdy przynajmniej jednostka *1W* zajmuje pozycję wyjściową.

Z siatek stanów wzbudzenia styczników D, G i P (nie pokazanych na rysunku) można ustalić następujące wyrażenia strukturalne obwodów

$$D = (bk_1+d)\bar{k}_5; \qquad G = (k_5+g)\bar{k}_4\bar{d}; \qquad P = (k_3+p)\bar{k}_1\bar{l}$$

Schemat układu sterowania, odpowiadającego znalezionym wyrażeniom strukturalnym przedstawiono na rys. 166.

3.2. Układ z przekaźnikami pośredniczącymi

Przykład 2. Zaprojektować układ sterowania napędem posuwów jednostki wiertarskiej, przeznaczonej do wiercenia długich otworów. Jednostka ta może zostać uruchomiona jedynie wtedy, gdy znajduje się ona w pozycji wyjściowej, w której jest naciśnięty drogowy łącznik krańcowy K_1. Do uruchomienia służy przycisk B. Gdy jednostka dojdzie do położenia, w którym zostaje przestawiony w położenie wymuszone łącznik drogowy K_2, następuje wyłączenie posuwu do przodu i załączenie wycofania jednostki, kończącego się z chwilą dojścia jej do pozycji wyjściowej (naciśnięcie łącznika K_1). Z tej pozycji jednostka samoczynnie rusza znowu do przodu. Tym razem posuw do przodu nie kończy się naciśnięciem łącznika K_2, lecz trwa dalej do chwili naciśnięcia łącznika K_3. W tym punkcie zostaje wyłączony posuw do przodu i załączone drugie z kolei wycofanie jednostki. Po dojściu do łącznika K_1 jednostka rusza po raz trzeci do przodu, mija bez zatrzymania łączniki K_2 i K_3 i dopiero dojście do łącznika K_4 powoduje trzecie wycofanie jednostki do łącznika K_1, kończące się tym razem wyłączeniem napędu całej obrabiarki (zakończenie cyklu pracy).

Pozostaje jeszcze ustalić oznaczenia literowe styczników układu: stycznik posuwu do przodu oznaczono przez P, stycznik zaś załączający napęd wycofania przez L.

Program sterowania został podany w opisowej tabeli programu (tab. 6). Tym razem w grupie taktów ustalonych nr *2* już w tabeli programu uwzględniono

Tabela 6.

Takt	Stan układu	Sygnały wejściowe	Sygnały wyjściowe
1	Stan wyjściowy (2)	k_1	O
2	Start cyklu (3)	$k_1\,b$	P
2a	Zwolnienie przycisku B (2)	k_1	P
2b	Zwolnienie łącznika K_1 (4)	b	P
2c	Zwolnienie K_1 i B (1)	O	P
3	Dojście do łącznika K_2 (pierwsze wycofanie) (5)	k_2	L
3a	Odejście od K_2 (1)	O	L
4	Powrót do pozycji wyjściowej, drugi posuw do przodu (2)	k_1	P
4a	Odejście z pozycji wyjściowej (1)	O	P
4b	Dojście do łącznika K_2 (5)	k_2	P
5	Dojście do łącznika K_3 (drugie wycofanie) (6)	k_3	L
5a	Odejście od K_3 (1)	O	L
5b	Dojście do łącznika K_2 (5)	k_2	L
6	Powrót do pozycji wyjściowej, trzeci posuw do przodu (2)	k_1	P
6a	Odejście z pozycji wyjściowej (1)	O	P
6b	Dojście do łącznika K_2 (5)	k_2	P
6c	Dojście do łącznika K_3 (6)	k_3	P
7	Dojście do łącznika K_4 (trzecie wycofanie) (7)	k_4	L
7a	Odejście od K_4 (1)	O	L
7b	Dojście do łącznika K_3 (6)	k_3	L
7c	Dojście do łącznika K_2 (5)	k_2	L
8 = 1	Powrót do pozycji wyjściowej, koniec cyklu (2)	k_1	O

takty pośrednie między startem takt *2*, a przejściem do położenia spoczynkowego przycisku B i łącznika K_1. Było to możliwe ponieważ taktów tych jest zaledwie dwa *2a* i *2b*.

Pomiędzy dwiema kolejnymi zmianami zwrotu posuwu nie zmienia się stan wyjść, ani też nie powtarza się ten sam stan wejść, przedzielony sygnałem czynnym. Dlatego też przy każdym nawrocie wszystkie takty, od jednego krańcowego położenia jednostki do drugiego, są oznaczone tym samym numerem. Jak już wyjaśniono, takiemu oznaczeniu nie przeszkadza powtarzanie się tego samego stanu wejść, przedzielonego sygnałem biernym. Tym powtarzającym się stanem wejść jest w rozpatrywanym przykładzie stan 0 (wszystkie sygnały wejściowe na poziomie 0). Jest on co pewien czas przedzielany pojawieniem się sygnału bier-

nego, wysyłanego przez mijany właśnie łącznik drogowy. Jak i w poprzednim przykładzie takie powtarzające się stany wejść przy niezmienionym stanie wyjść traktujemy jako ten sam takt ustalony. Te powtarzające się takty odpowiadające stanom wejść 0, począwszy od taktu *3a*, oznaczono w tabeli programu literą *a* (*3a*, *4a* itd.). Tak np. z taktu *6* przechodzimy do taktu *6a*, następnie do taktu 6b, po czym wracamy do taktu *6a* itd.

Z omówionej opisowej tabeli programu przechodzimy do jej uproszczonej postaci (rys. 167a). W tej ostatniej wpisuje się również takty przejściowe. Tabelę uproszczoną uzupełniamy wpisaniem taktów nr *1* w wolne pola pierwszego wiersza (rys. 167b) oraz wpisaniem taktów w wolne pola kolumn k_1b i b. Celem tej ostatniej czynności jest uzyskanie takiego programu sterowania, w którym przypadkowe naciśnięcie przycisku B w trakcie pracy obrabiarki nie wprowadzi do pracy żadnych zakłóceń. W wolnych polach kolumny k_1b należy wpisać takie same takty, jak w tych samych wierszach kolumny k_1. Oznacza to, że efekt naciśnięcia łącznika K_1 jest taki sam bez względu na stan przycisku B w tym momencie. W kolumnie b powtarzamy takty z kolumny *0*.

Według założenia układ powinien posiadać wyjścia stycznikowe. Jednakże gdyby nawet zrezygnować z tego warunku, to i tak z tabeli przedstawionej na rys. 167b wynika, że dalsza jej redukcja nie jest możliwa. Wszystkim taktom jednego wiersza tabeli odpowiada ten sam stan wyjść, można więc z prawej strony wpisać symbole tego stycznika, który jest załączony w taktach danego wiersza.

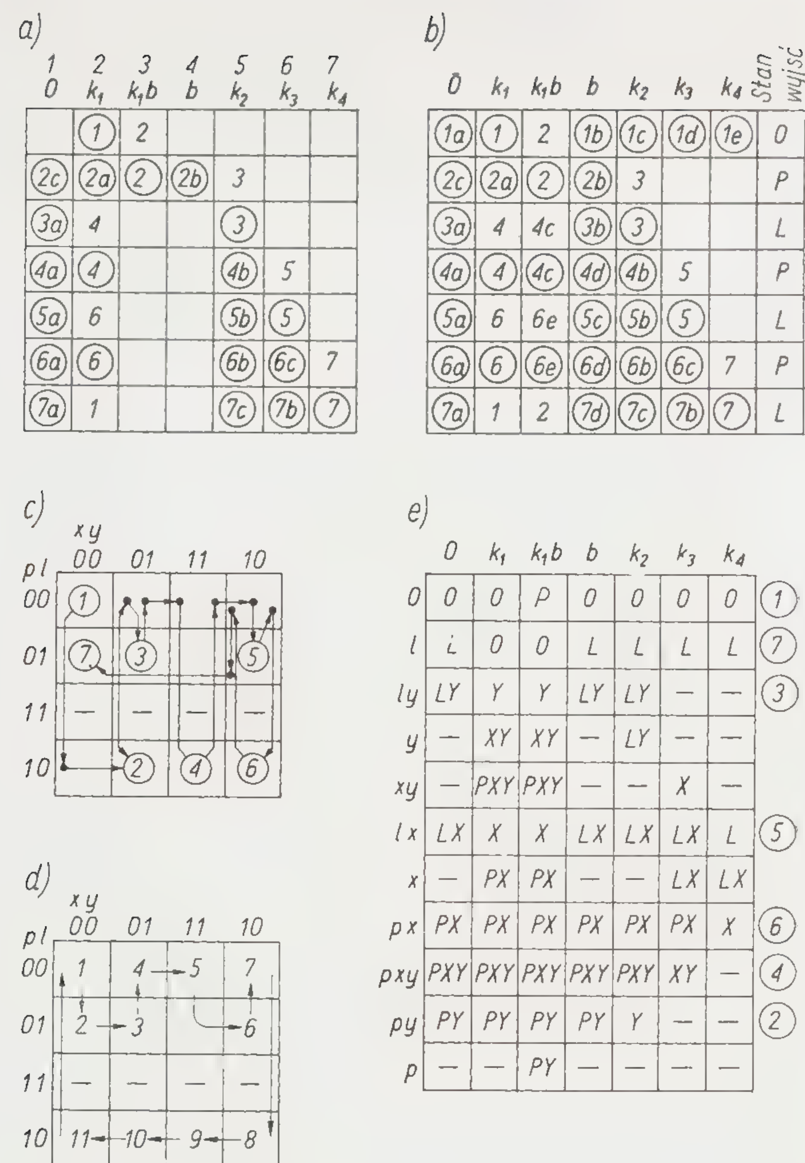
Stan załączenia każdego stycznika występuje w trzech wierszach tabeli. Oznacza to, że układ trzeba jeszcze wyposażyć w dwa przekaźniki pośredniczące, które oznaczamy przez X i Y.

Na rysunku 167c przedstawiono rozmieszczenie wierszy tabeli programu w szesnastopolowej siatce *Karnaugha*, sporządzonej dla styczników P i L oraz przekaźników X i Y. Wierszy tabeli nie oznaczono obecnie literami alfabetu greckiego, lecz numerami taktów ustalonych, zapisanych w tych wierszach. Wiersz nr 1 należy umieścić w lewym górnym polu siatki. Wiersze z numerami parzystymi muszą być rozmieszczone w polach, dla których $pl = 10$, a więc w polach ostatniego wiersza siatki pokazanej na rys. 167c (wiersz trzeci, odpowiadający stanowi $p = 1$ i jednocześnie $l = 1$ nie może być wykorzystany. Podobnie wiersze tabeli z nieparzystymi numerami trzeba rozmieścić w polach drugiego wiersza siatki *Karnaugha*. Każde przejście z jednego wiersza do drugiego powinno prowadzić przez górny wiersz siatki ($pl = 0$). Rozmieszczenie, odpowiadające tym warunkom oraz strzałki wskazujące drogi przejść podano na rys. 167c. Z rysunku tego wynika, że uproszczona siatka przejść będzie miała 11 wierszy. Na rys. 167d przedstawiono jedną z optymalnych kolejności oznaczenia wierszy w siatce uproszczonej, zapewniającą w maksymalnej mierze, że wiersze, sąsiadujące ze sobą topograficznie będą również wierszami sąsiednimi z punktu widzenia wartości sygnałów. Zgodność ta nie będzie zachowana jedynie między wierszami piątym xy i szóstym xl.

Na rysunku 167e przedstawiono siatkę stanów, opracowaną na podstawie siatek z rys. 167b, c i d. Z prawej strony siatki podano w kółkach numery taktów ustalonych, występujących w odpowiednich wierszach.

Na podstawie ogólnej siatki stanów sporządzono siatki stanów wzbudzenia styczników P i L oraz przekaźników X i Y (rys. 168).

W myśl podstawowej zasady wyznaczania podgrup w siatce stanów P wydzielimy najpierw podgrupy zerowe obejmujące te pola zerowe, które można włączyć do jednej tylko podgrupy. Będą to w kolumnie k_2 pole drugie od dołu; w kolum-



Rys. 167. Synteza układu do przykładu 2: a) tabela programu; b) uzupełniona tabela programu; c) odwzorowanie wierszy tabeli w wierszach siatki przejść; d) uporządkowanie kolejności wierszy; e) siatka przejść

nie k_3 trzecia od dołu. Wchodzą one do podgrup zakreskowanych, pierwsze pole do podgrupy $(\bar{k}_2+x)$, drugie — do podgrupy $(\bar{k}_3+\bar{y})$. Wydzielimy jeszcze podgrupy zerowe $\bar{l}$ i $\bar{k}_4$, obejmujące zera przekreślone, po czym traktując wszystkie pola tych podgrup jako pola ze stanami obojętnymi ustalimy podgrupy jedynkowe. Będą nimi w kolumnie k_1b podgrupa $k_1b\bar{y}$; w kolumnach k_1 i k_1b podgrupa k_1x, wreszcie podgrupa p, obejmująca cztery ostatnie wiersze siatki. Podgrupy te dają następujące wyrażenie strukturalne obwodu wzbudzenia P

$$P = (\bar{k}_2+x)(\bar{k}_3+\bar{y})\bar{k}_4 l[k_1(b\bar{y}+x)+p]$$

W siatce stanów stycznika L po wydzieleniu podgrup zerowych $\bar{p}$ i $\bar{k}_1$ i wyznaczeniu podgrup jedynkowych x, y i l otrzymuje się wyrażenie strukturalne obwodu stycznika L

$$L = \bar{p}\bar{k}_1(x+y+l)$$

Jeszcze prościej przedstawia się wyrażenie strukturalne obwodu X. Cztery pola jedynkowe w kolumnie k_1 i k_1b tworzą podgrupę $k_1y\bar{p}\bar{l}$, pozostałe pola jedynkowe — podgrupę $(x-k_4l) = x(\bar{k}_4+\bar{l})$. Suma $\bar{k}_4+\bar{l}$ wyznacza podgrupę zerową, obejmującą pola zakreskowane, zatem $X = k_1y\bar{p}\bar{l}+(\bar{k}_4+\bar{l})x$.

Wyrażenie strukturalne obwodu Y można złożyć z podgrup zerowych. Najpierw trzeba wyznaczyć podgrupę zerową obejmującą pole zerowe w wier-



Rys. 168. Siatki stanów przekaźników P, L, X i Y do przykładu 2

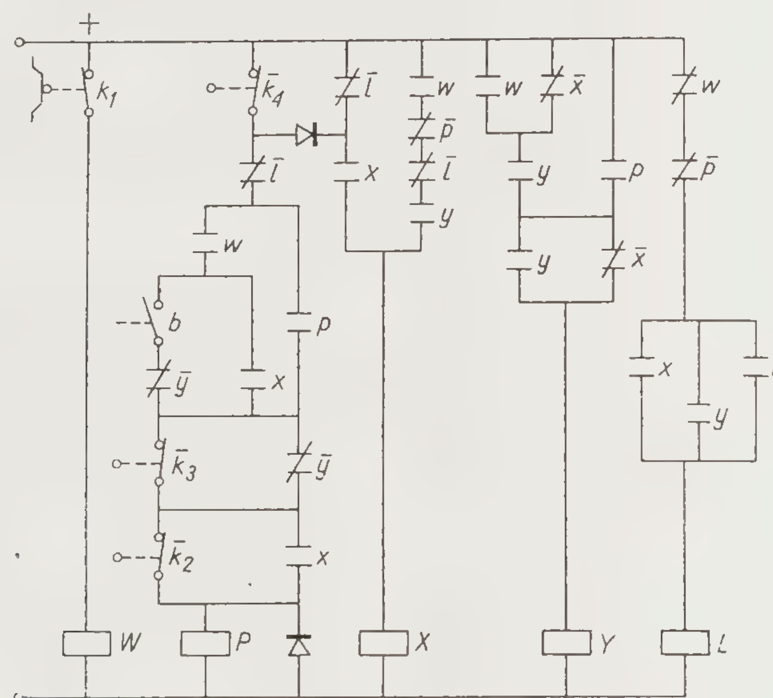
szu xy, w kolumnie k_3. Zminimalizowanym wyrażeniem strukturalnym tej podgrupy będzie $(\bar{k}_3+p)$. Cztery wiersze z polami zerowymi 0, l, lx i x tworzą jedną podgrupę zerową dającą się określić przez $p+y$, ostatni wiersz px z polami zerowymi można włączyć do podgrupy $(\bar{x}+y)$, obejmującej wiersze: lx, x i px. Tak więc $Y = (\bar{k}_3+p)(p+y)(\bar{x}+y) = (p+\bar{k}_3y)(\bar{x}+y) = (\bar{k}_3+p)(p\bar{x}+y)$.

Analizując otrzymane wyrażenie strukturalne z punktu widzenia liczby zestyków łączników drogowych, potrzebnych do realizacji układu, stwierdzamy, że wymaga on użycia dwóch zwiernych i jednego rozwiernego zestyku łącznika

K_1, jednego rozwiernego zestyku łącznika K_2 oraz po dwa rozwierne zestyki łączników K_3 i K_4. Stosując blokady diodowe można by zredukować po jednym zestyku rozwiernym $\bar{k}_3$ i $\bar{k}_4$, nie uda się to jednak w odniesieniu do zestyków zwiernych k_1. Trzeba więc zastosować przekaźnik pośredniczący $W = k_1$. W takiej sytuacji spróbujemy jeszcze, czy uda się oszczędzić jeden zestyk $\bar{k}_3$ lub $\bar{k}_4$ kosztem dodatkowego zestyku łącznika K_1, który to zestyk będzie można zastąpić zestykiem przekaźnika W. Powtórne przeanalizowanie pod tym kątem widzenia siatek stanów z rys. 168 pozwala zmienić podgrupę zerową w siatce stanów Y, obejmującą nie przekreślone pole zerowe w wierszu xy. Zamiast podgrupy $(\bar{k}_3+p)$ można przyjąć podgrupę $(k_1+p+\bar{x})$. Pozostałe podgrupy nie ulegają zmianie, a wyrażenie strukturalne obwodu Y po przeprowadzeniu tej zmiany przybierze postać

$$Y = [p+(k_1+\bar{x})y](\bar{x}+y) = (k_1+\bar{x}+p)(p\bar{x}+y) =$$
$$[\bar{x}+(k_1+p)y](p+y)$$

Na rysunku 169 przedstawiono schemat opracowanego układu, w którym dla obwodu Y przyjęto pierwszy z trzech podanych wyżej wariantów, wprowadzono



Rys. 169. Schemat układu sterowania według siatek z rys. 168

przekaźnik pośredniczący $W = k_1$, zastępując w pozostałych obwodach zestyki k_1 i $\bar{k}_1$ odpowiednio przez w i $\bar{w}$, a wreszcie zredukowano jeden z zestyków $\bar{k}_4$ wykorzystując blokadę diodową w obwodzie P i X.

3.3. Układ z powtarzającymi się stanami wejść przy nie zmienionym stanie wyjść

3.3.1. Założenia do opracowania układu. Omawiany w rozdziałach siódmym i dziewiątym układ sterowania przedstawieniem wrzeciennika (rys. 102, 103, 104, 160, 161) stanowi uproszczony fragment układu sterowania frezarki bezkonsolowej. W pełnym układzie sterowania tej frezarki każdy z omawianych trzech cykli może przebiegać w jednym z dwóch zwrotów: 1) rozpoczynającym

się od posuwu w prawo — jak w wersji uproszczonej; 2) rozpoczynającym się od posuwu w lewo i stanowiącym lustrzane odbicie jednego z cykli poprzednio omówionych. W dalszym ciągu będziemy mówili o cyklach „prawych" i „lewych".

Przykład 3. Postawimy sobie obecnie za zadanie zaprojektowanie obwodu wzbudzenia tak zwanego „przekaźnika pracy w cyklu automatycznym", to znaczy przekaźnika, który załączony z chwilą uruchomienia obrabiarki, zostanie wyłączony z chwilą zakończenia cyklu, powodując z kolei wyłączenie całego układu sterowania i całego napędu obrabiarki.

Określone dotychczas wymagania stawiane układowi uzupełnimy jeszcze dodatkowymi informacjami dotyczącymi pracy frezarki oraz dalszymi warunkami, które powinien spełniać projektowany układ.

Obrabiarka będzie pracowała w cyklu prawym, lub lewym, zależnie od tego, czy zostanie naciśnięty przycisk startu prawego cyklu (ten przycisk oznaczono przez B_1), czy też przycisk startu lewego cyklu (przycisk B_2). Naciśnięcie przycisku B_1 lub B_2 uruchomi jeden z automatycznych cykli prawych, (lub lewych), jeżeli w tym czasie przełącznik selekcyjny S jest ustawiony w położeniu, odpowiadającym pracy cyklu automatycznego, jeżeli jednak przełącznik S jest ustawiony w położeniu „sterowanie ręczne", to naciśnięcie przycisku B_1 (B_2) uruchomi jedynie posuw w prawo (w lewo).

W momencie startu stół obrabiarki może się znajdować w jednym ze swych położeń krańcowych, wtedy jest naciśnięty albo łącznik krańcowy K_1, albo K_2. Pracę w cyklu automatycznym można jednak uruchomić również wtedy, gdy stół znajduje się w dowolnym położeniu.

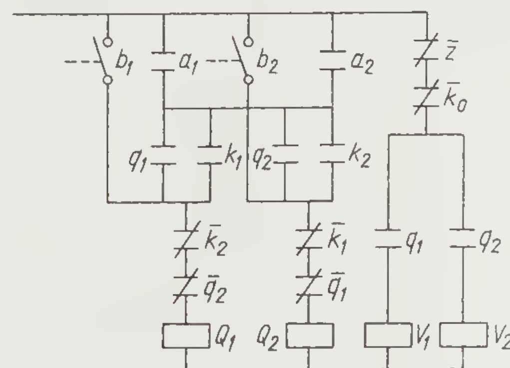
Po uruchomieniu pracy w cyklu automatycznym przypadkowe naciśnięcie przycisku B_1 lub B_2 nie powinno wprowadzać żadnych zmian w przebiegu pracy frezarki. Naciśnięcie przycisku B_1, gdy stół znajduje się w prawym skrajnym położeniu (naciśnięty łącznik K_2), albo przycisku B_2, gdy stół zajmuje skrajne lewe położenie (naciśnięty łącznik K_1) — nie powinno uruchomić obrabiarki.

Jeżeli spróbujemy, jak to robiliśmy dotychczas, od razu przystąpić do opracowywania tabeli programu, to napotkamy niewątpliwie na poważne trudności, gdyż cykle automatyczne dla których należy zaprojektować przekaźnik pracy w cyklu automatycznym, dzielą się wyraźnie na dwie odrębne grupy. Pierwszą grupę stanowią cykle prawe, drugą — lewe. O ile, w interesującym nas na razie zakresie, cykle jednej grupy różnią się między sobą raczej nieznacznie momentem zakończenia pracy w danym cyklu przy zachowaniu jednakowego sygnału startu i jednakowej sekwencji sygnałów wejściowych i wyjściowych, to różnica między przebiegiem pracy podobnego cyklu w dwóch różnych grupach jest zasadnicza. Obejmuje ona sygnał startu i sygnał zakończenia (np. w cyklu nr 1 prawym sygnałem startu jest naciśnięcie przycisku B_1, sygnałem zakończenia — naciśnięcie łącznika K_1 po uprzednim dojściu stołu do łącznika K_2; w tym samym cyklu lewym mamy odpowiednio b_2 jako sygnał startu, k_2 jako sygnał zakończenia i k_1 jako sygnał przygotowania do zakończenia cyklu). Stwierdzenie tej poważnej różnicy między dwiema grupami cyklu prowadzi do wniosku, że celowym jest przewidzieć nie jeden, lecz dwa przekaźniki pracy w cyklu automatycznym, jeden załączany na okres dowolnego cyklu prawego, drugi zaś — cyklu lewego. Przekaźniki te oznaczymy odpowiednio literami A_1 (praca w automatycznym cyklu prawym) i A_2 (praca w cyklu lewym).

Z podanych poprzednio przy syntezie układu sterowania przestawieniem pinoli warunków wynika, że na okres przestawiania posuw zostaje zatrzymany, a następnie wznowiony — w tym samym zwrocie — jeżeli zatrzymanie nastę-

puje w momencie naciśnięcia łącznika K_3 (poza skrajnymi położeniami stołu), albo też w zwrocie przeciwnym — jeżeli zatrzymanie posuwu i przestawienie pinoli następuje w jednym ze skrajnych położeń stołu. Wynika stąd, że w układzie trzeba zastosować odpowiednie obwody pamięciowe.

W wyniku powyższych rozważań intuicja podsunie niewątpliwie koncepcję rozwiązania podobną do przedstawionej na schemacie ideowym rys. 170. Na rysunku tym zamiast przekaźnika posuwu Q_0, występującego w schemacie rys. 161,



Rys. 170. Uproszczony schemat ideowy układu sterowania posuwami stołu do przykładu 3

wprowadzono dwa przekaźniki Q_1 i Q_2, odpowiadające dwom zwrotom posuwu. Przekaźnik Q_1 służy do włączania i wyłączania sprzęgła posuwu w prawo, przekaźnik Q_2 — do włączania i wyłączania sprzęgła posuwu w lewo. W rozpatrywanym przykładzie przyjęto oznaczanie wskaźnikiem 1 elementów sterowania odnoszących się do posuwu w prawo, wskaźnikiem 2 — elementów odnoszących się do posuwu w lewo, a więc sprzęgło posuwu w prawo zostanie oznaczone przez V_1, sprzęgło posuwu w lewo — przez V_2. Zestyki $\bar{z}\bar{k}_0$, przeznaczone do przerywania posuwu na czas przestawiania wrzeciennika, były w schemacie rys. 161 umieszczone w obwodzie przekaźnika Q_0, w schemacie rys. 170 umieścimy je we wspólnej gałęzi obwodów wzbudzenia sprzęgieł V_1 i V_2. Każdy z przekaźników zwrotu posuwu (Q_1 i Q_2) pozostaje załączony od momentu zamknięcia jego obwodu wzbudzenia w chwili startu lub w skrajnym położeniu stołu, do chwili, gdy stół posuwem w danym zwrocie dojdzie do odpowiedniego położenia krańcowego. W prawym położeniu krańcowym łącznik K_2 przerywa obwód wzbudzenia przekaźnika Q_1 i zamyka obwód przekaźnika Q_2; w lewym krańcowym położeniu stołu zostaje wyłączony przekaźnik Q_2 i załączony przekaźnik Q_1. Podczas postoju stołu przy naciśniętym łączniku K_3 lub K_4 (jeżeli w tym miejscu odbywa się doskok wrzeciennika) pozostaje załączony ten z przekaźników Q_1 lub Q_2, który był załączony przed dojściem do K_3 lub K_4; również ewentualny postój w skrajnym położeniu stołu nie ma żadnego wpływu na wyłączenie jednego i załączenie drugiego przekaźnika zwrotu posuwu.

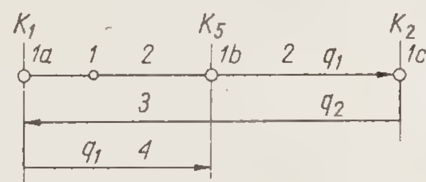
3.3.2. Opracowanie opisowej tabeli programu. Syntezę obwodów przekaźników A_1 i A_2 przeprowadzimy najpierw dla cyklu nr 2, jako najbardziej urozmaiconego spośród trzech cykli automatycznych, w jakich frezarka ma pracować (rys. 102), a w następnym etapie uzupełnimy zaprojektowane obwody tak, by spełniały również wymagania pracy w cyklu nr 1 i 3. W związku z tym również i opisową tabelę programu (tab. 7) opracujemy najpierw dla cyklu nr 2.

Tabela 7.

Takt	Stan układu	Sygnały wejściowe	Sygnały wyjściowe
1	I położenie wyjściowe stołu (1)	O	O
1a	II położenie wyjściowe stołu (2)	k_1	O
1b	III położenie wyjściowe stołu (3)	k_5	O
1c	IV położenie wyjściowe stołu (4)	k_2	O
2	start w prawo z położenia I (5)	$b_1 q_1$	A_1
2a	start w prawo z położenia II (6)	$b_1 q_1 k_1$	A_1
2b	start w prawo z położenia III (7)	$b_1 q_1 k_5$	A_1
2c	zwolnienie przycisku przy starcie I w prawo (8)	q_1	A_1
2d	zwolnienie przycisku przy starcie II w prawo (9)	$q_1 k_1$	A_1
2e	zwolnienie przycisku przy starcie III w prawo (10)	$q_1 k_5$	A_1
3	stół doszedł do K_2 (11)	$q_2 k_2$	A_1
3a	stół wycofał się z łącznika K_2 (12)	q_2	A_1
3b	stół posuwem w lewo doszedł do K_5 (13)	$q_2 k_5$	A_1
4	stół powrócił do K_1 (9)	$q_1 k_1$	A_1
4a	stół oddalił się do K_1 (8)	q_1	A_1
5 = 1b	stół przy drugim posuwie w prawo doszedł do K_5 (koniec cyklu) (10) → (13)	$q_1 k_5 \to k_5$	O
6	start w lewo z położenia I (14)	$b_2 q_2$	A_2
6a	start w lewo z położenia IV (15)	$b_2 q_2 k_2$	A_2
6b	start w lewo z położenia III (16)	$b_2 q_2 k_5$	A_2
6c	zwolnienie przycisku przy starcie I w lewo (12)	q_2	A_2
6d	zwolnienie przycisku przy starcie IV w lewo (11)	$q_2 k_2$	A_2
6e	zwolnienie przycisku przy starcie III w lewo (13)	$q_2 k_5$	A_2
7	stół doszedł do K_1 (9)	$q_1 k_1$	A_2
7a	stół wycofał się z łącznika K_1 (8)	q_1	A_2
7b	stół posuwem w prawo doszedł do K_5 (10)	$q_1 k_5$	A_2
8	stół powrócił do K_2 (11)	$q_2 k_2$	A_2
8a	stół oddalił się od K_2 (12)	q_2	A_2
9 = 1b	stół przy drugim posuwie w lewo doszedł do K_5 (koniec cyklu) (13) → (3)	$q_2 k_5 \to k_5$	O

Do pierwszej grupy taktów ustalonych zaliczamy takty przed uruchomieniem obrabiarki. Odpowiadają one położeniom stołu, zaznaczonym na rys. 171 kółkami. Otrzymują one numery 1; 1a; 1b i 1c. W tych taktach stan wyjść (stan przekaźników A_1 i A_2), jak również stan sygnałów, pochodzących od innych przekaźników elektromagnetycznych, odpowiada wartości 0. Jedynymi sygnałami o wartości 1 mogą być w tej grupie taktów sygnały, pochodzące od łączników drogowych. Stwierdzenia te wystarczają do wypełnienia tabeli programu dla taktów nr *1*.

Takty drugiej grupy, oznaczone numerem *2*, obejmują okres startu i początkowy okres pracy obrabiarki w danym cyklu. Przez cały czas stan wyjść nie ulega zmianie. Mimo to wszystkich taktów cyklu nie można umieścić w jednym wierszu siatki przejść, ponieważ w tym czasie mają miejsce powtórzenia tych samych stanów wejść, przedzielonych innymi stanami, nie mającymi charakteru biernych zmian sygnałów wejściowych. Aby zorientować się, jak należy podzielić takty ustalone na grupy, które można umieścić w jednym wierszu siatki przejść, popatrzmy na uproszczony diagram pracy obrabiarki w cyklu nr 2 (rys. 171). Uproszczenie diagramu do zakresu, interesującego nas w tym przypadku, polega na ograniczeniu podania charakterystycznych punktów drogi stołu do położeń granicznych, wyznaczonych przez łączniki krańcowe K_1 i K_2, oraz do położenia, w którym następuje zakończenie cyklu pracy (naciśnięcie łącznika K_5 przy drugim przejściu stołu w prawo). Prócz tych danych na diagramie zaznaczono kółkami wspomniane wyżej cztery możliwe położenia stołu w momencie startu.



Rys. 171. Uproszczony diagram posuwów do przykładu 3

Z rysunku można odczytać, że w ciągu całego okresu, podczas którego załączony jest przekaźnik A_1, sygnał k_1 (stół w skrajnym lewym położeniu) pojawia się dwukrotnie, jeżeli start nastąpił z punktu *1a*. W tym samym czasie sygnał k_5 pojawia się trzykrotnie. Sygnał ten podczas pierwszego i drugiego przejścia stołu ma charakter bierny, a więc takty ustalone, odpowiadające temu samemu stanowi wejść podczas zbliżania się stołu do łącznika K_5 i po jego minięciu mogą mieć ten sam numer. Natomiast drugi z kolei sygnał k_1, pojawiający się po wycofaniu stołu do skrajnego położenia lewego nie ma charakteru biernego przekazuje on do układu informację, że teraz sygnał k_5 powinien spowodować wyłączenie obrabiarki (przy pierwszym posuwie w prawo z punktu startowego *1a* sygnał k_1 nie mógł przekazywać takiego polecenia, ponieważ wtedy stół powinien minąć łącznik K_5 bez zatrzymania się). Również i łącznik K_2 nie ma charakteru biernego nie dlatego, że powoduje on zmianę zwrotu posuwu, który to fakt nie musi być przekazywany „do wiadomości" obwodów przekaźnika A_1, czy też A_2 — lecz dlatego, że sygnał k_2 uprzedza układ o zmianie informacji przekazanej przy najbliższym pojawieniu się sygnału k_1.

Z powyższych rozważań wyciągamy wniosek, że jednakowe numery mogą mieć jedynie te takty ustalone podawane w tabeli programu, które odpowiadają przejściu stołu od jednego położenia krańcowego do drugiego. Przydzielimy im więc następujące numery: *1* — stół stoi, przekaźnik A_1 nie załączony; *2* — pierwsze przejście stołu w prawo, przekaźniki A_1 i Q_1 załączone; *3* — pierwsze przejście stołu w lewo, załączone przekaźniki A_1 i Q_2; *4* — drugie przejście stołu w prawo, załączone przekaźniki A_1 i Q_1.

Analogicznie podzielimy na grupy takty ustalone, występujące podczas pracy w cyklu lewym, z tym, że grupa oznaczona numerem 1 będzie wspólna dla obu przypadków (sytuacja wyjściowa jest jednakowa, bez względu na to, czy zostanie uruchomiony cykl prawy czy też lewy). Drugiej grupie taktów cyklu prawego odpowiada szósta grupa taktów cyklu lewego i tak dalej, aż do grupy ósmej (grupa piąta odpowiada zakończeniu pracy obrabiarki w cyklu prawym, grupa dziewiąta — w lewym). Gdyby pomyłkowo takty podzielić na grupy zbyt duże albo

zbyt małe, to po zorientowaniu się błąd można poprawić przy przechodzeniu z opisowej tabeli programu do uproszczonej postaci klasycznej. Przy podziale na grupy zbyt duże pojawią się w zredukowanej tabeli programu pola z taktami ustalonymi, z których w tej samej kolumnie trzeba by prowadzić dwa różne przejścia do dwóch różnych dalszych taktów ustalonych, albo też ciąg taktów ustalonych, prowadzących do innego taktu końcowego, trafi na pole zajęte już przez inny takt. Natomiast przy podziale na grupy zbyt małe można zauważyć, że zredukowana tabela programu pozwala na dalszą jej redukcję.

Wróćmy teraz do wypełniania tabeli programu w grupie taktów ustalonych, oznaczonych numerem *2*. Wpiszemy tu najpierw takty startu, różniące się w stanie wejść dopisaniem sygnału startu b_1, a w stanie wyjść stanem A_1 zamiast 0. Jedynie naciśnięcie przycisku B_1, gdy stół znajduje się w skrajnym prawym położeniu $K_2 = 1$, zgodnie z założeniami nie powinno spowodować załączenia przekaźnika A_1. Odpowiedni takt należy zatem umieścić w grupie nr 1. Włączenie jednak takiego taktu do tabeli programu spowoduje, że w obwodzie wzbudzenia A_1 trzeba będzie umieścić zestyk $\bar{k}_2$ (podobnie w obwodzie A_2 zestyk $\bar{k}_1$), a to oznacza dodatkowe stosowanie zestyków łączników drogowych, czego należy unikać. Zanim więc wpiszemy do tabeli warunek, że sygnałowi wejściowemu b_1k_2 odpowiada stan wyjść 0, spróbujemy znaleźć inne rozwiązanie tego problemu. Omówiony poprzednio schemat ideowy z rys. 170 podsunie nam następujące rozwiązanie: naciśnięcie przycisku B_1 niezależnie od A_1 załącza obwód wzbudzenia przekaźnika Q_1, naciśnięcie zaś łącznika drogowego K_2 przerywa ten obwód. Jeżeli więc jako sygnał startu do pracy w cyklu prawym przyjmiemy b_1q_1 zamiast samego b_1, to nie uruchomimy obrabiarki w rozważanym położeniu skrajnym, ponieważ wtedy $b_1q_1 = 0$. Podobnie jako sygnał startu do pracy w cyklu lewym przyjmiemy b_2q_2. Pozwoli to na nieuwzględnianie w tabeli programu warunku nieuruchamiania obrabiarki w skrajnych położeniach wybiegowych. Ustalenia powyższe pozwoliły na wypełnienie taktów *2*, *2a* i *2b* w tabeli programu. Jeżeli jednak jako sygnał startu dopuszczamy jedynie sygnał b_1q_1 lub b_2q_2, to w pierwszej grupie taktów powinniśmy wpisać takty z sygnałami b_1 i b_2 dla zaznaczenia, że sygnały te nie mogą spowodować uruchomienia obrabiarki. Można było również postąpić jak w poprzednim przykładzie, zapamiętać jedynie to postanowienie i układając wyrażenie strukturalne obwodu A_1 nie wpisywać do niego sygnału b_1 bez sygnału q_1. Aby jednak nie obciążać pamięci, w tym przypadku sygnały b_1q_1 (b_2q_2) wprowadzimy już w tabeli programu.

Następne takty tej grupy odpowiadają sytuacji, gdy w którymkolwiek z poprzednich taktów zostanie zwolniony przycisk B_1 i sygnał b_1 przyjmie watość 0. Ponieważ w tej grupie taktów sygnał q_1 nie ulega zmianie wypełnianie drugiej grupy wierszy tabeli zostaje tym samym zakończone.

Grupa taktów oznaczonych numerem *3* rozpoczyna się od taktu *3*, odpowiadającego sytuacji, gdy stół doszedł do krańcowego położenia prawego, naciśnięcie łącznika K_2 spowodowało wyłączenie przekaźnika Q_1 i załączenie przekaźnika Q_2. Sytuacji tej odpowiada stan wejść k_2q_2. Następnie takty tej grupy, to *3a* (stół w ruchu w lewo nie naciska żadnego z łączników drogowych) i *3b* (stół w ruchu w lewo naciska na łącznik drogowy K_5, który przekazuje do układu krótkotrwały sygnał bierny k_5).

Analogicznie przebiegają początkowe takty drugiego posuwu stołu w prawo, z tą jedynie różnicą, że tym razem pojawienie się sygnału q_1k_5 oznacza wyłączenie przekaźnika A_1, a więc taktowi z takim wejściem odpowiada stan wyjść 0, co zmusza do zmiany numeru taktu na *5*. Wyłączenie obrabiarki następuje wtedy, gdy stół naciska na łącznik K_5, takt *5* jest równoznaczny z taktem *1b*. Wprawdzie w chwili naciśnięcia łącznika K_5 stan wejść był q_1k_5, lecz przerwanie obwodu A_1

powoduje z kolei przerwanie obwodu wzbudzenia przekaźnika Q_1, a więc po zakończeniu taktu przejściowego stan wejść odpowiada sygnałowi k_5, a stanem wyjść — jest 0.

Takty oznaczone numerem *6* odpowiadają startowi do cyklu lewego i pierwszemu przejściu stołu do położenia krańcowego. Wszystkie te takty będą więc odpowiadały taktom numer 2, z tą jedynie różnicą, że zamiast sygnału q_1 wystąpi teraz sygnał q_2, zamiast $b_1 - b_2$, zamiast $k_1 - k_2$, a bez zmiany pozostaje jedynie sygnał k_5. Oczywiście w kolumnie sygnałów wyjściowych notuje się teraz A_2.

Z zachowaniem podanej wyżej różnicy sygnałów takty numer *7* odpowiadają taktom numer *3*, a takty *8* — taktom *4*. Wreszcie zakończenie cyklu przypada na takt *9* odpowiadający taktowi *5* i przechodzącemu po okresie przejściowym w takt ustalony *1b*.

3.3.3. Zredukowana i uproszczona tabela programu. Z opracowanej w poprzednim paragrafie opisowej tabeli programu przechodzimy do zredukowanej tabeli programu, wypełnionej w sposób różniący się od klasycznego jedynie pominięciem kolumn ze stanami obojętnymi oraz opisaniem kolumn uwzględnionych w tabeli. Aby możliwie zachować sąsiedniość stanów wejść w kolumnach sąsiadujących ze sobą topograficznie wprowadzono odmienne uporządkowanie kolumn, niż wynikałoby to z kolejności numerów różnych stanów wejść (rys. 172). Po wpisaniu do tej tabeli taktów ustalonych, uzupełniono ją jeszcze wpisaniem taktów przejściowych. Wspomnianemu wyżej przejściu z taktu (4a) do (1b) towarzyszy nie tylko zmiana wiersza (z czwartego do pierwszego), lecz w stanie przejściowym również zmiana kolumny, co zaznaczono strzałką w górnym wierszu. Podobny przebieg ma przejście z taktu (8a) do (1b). Przyczyną tak przebiegającego przejścia, z czym spotykamy się po raz pierwszy, jest potraktowanie sygnałów q_1 i q_2 jako pierwotnych sygnałów wejściowych, a więc niezależnych od stanu przekaźników projektowanych obwodów. W rzeczywistości jednak, o czym wspomniano wyżej, oba te sygnały zależą od stanu przekaźników A_1 i A_2 przyjmując wartość 0, gdy $a_1+a_2 = 0$. Jednak sygnałów q_1 i q_2 nie można było potraktować jako sygnałów wtórnych, gdyż zmusiłoby to do uwzględnienia stanów wzbudzenia Q_1 i Q_2 w polach tabeli i siatek. Wyjaśniona na początku rozdziału tendencja do projektowania oddzielnych fragmentów większego układu sterowania prowadzi niekiedy do pewnych, nie mających większego praktycznego znaczenia, odchyleń od sposobów stosowanych w metodzie *Huffmana*. Między innymi w ten sposób przejawiają się związki i zależności funkcjonalne między oddzielnie opracowywanymi fragmentami układu. Dlatego też omówiono najpierw koncepcję sterowania obwodami wzbudzenia przekaźników Q_1 i Q_2, a dopiero potem przystąpiono do syntezy obwodów wzbudzenia przekaźników A_1 i A_2.

Po zakończeniu pierwszego etapu wypełniania zredukowanej tabeli programu (rys. 172a) przechodzimy do etapu drugiego, polegającego na sprawdzeniu wszystkich, dotychczas nie wypełnionych pól tabeli. Chodzi o ustalenie, które z nich odpowiadają rzeczywiście stanom obojętnym układu, które zaś wymagają wpisania w nie odpowiedniego taktu ustalonego, lub przejściowego z jakichkolwiek powodów pominiętego w pierwszym etapie. Ten drugi etap opracowywania tabeli przedstawiono — dla większej przejrzystości — na oddzielnym rysunku (rys.172b).

W tym etapie bierzemy pod uwagę, że na początku cyklu, czyli przed naciśnięciem przycisku B_1 lub B_2 nie może pojawić się ani sygnał q_1, ani q_2; wszystkie cztery nie wypełnione pola pierwszego wiersza odpowiadają więc stanom obojętnym. Załączenie przekaźnika Q_1 lub Q_2 wymaga naciśnięcia B_1 lub B_2, a to prowadzi od razu do kolumny z sygnałem b_1q_1 lub b_2q_2.

Drugi wiersz tabeli jest przeznaczony na takty ustalone, zachodzące pod-

czas pierwszego przejścia stołu frezarki w prawo. We wszystkich tych taktach pozostaje załączony przekaźnik posuwu w prawo Q_1.

Trzeci wiersz tabeli obejmuje takty ustalone, występujące podczas powrotnego ruchu stołu w lewo (od łącznika K_2 do łącznika K_1). Z tego rozdziału taktów ustalonych w wierszach tabeli programu wynika, że w wierszu drugim pozostaną nie wypełnione pola, odpowiadające taktom ustalonym, podczas których jest załączony posuw w lewo ($q_2 = 1$), a w wierszu trzecim — pola taktów ustalonych, w których $q_1 = 1$. Stwierdzenie to nie dotyczy taktów przejściowych, prowadzących od taktu ustalonego (2e) (stół posuwem w prawo dochodzi do położenia krańcowego, wyznaczonego przez łącznik K_2) do taktu (3) (stół rozpoczął posuw w lewo, łącznik krańcowy K_2 pozostaje jeszcze naciśnięty). Podczas tych taktów przejściowych zostaje przerwany obwód wzbudzenia przekaźnika Q_1, a następnie załączony obwód wzbudzenia przekaźnika Q_2. Ponieważ sygnały

a)

0	k_1	$b_1q_1k_1$	q_1k_1	q_1	b_1q_1	$b_1q_1k_5$	q_1k_5	k_5	q_2k_5	$b_2q_2k_5$	b_2q_2	q_2	q_2k_2	$b_2q_2k_2$	k_2
(1)	(1a)	2a			2	2b	1b	(1b)	1b	6b	6			6a	(1c)
		(2a)	(2d)	(2c)	(2)	(2b)	(2e)						3		
			4						(3b)			(3a)	(3)		
			(4)	(4a)			1b								
			7						(6e)	(6b)	(6)	(6c)	(6d)	(6a)	
			(7)	(7a)			(7b)								
									1b			(8a)	(8)		
(1)	(2)	(6)	(9)	(8)	(5)	(7)	(10)	(3)	(13)	(16)	(14)	(12)	(11)	(15)	(4)

b)

0	k_1	$b_1q_1k_1$	q_1k_1	q_1	b_1q_1	$b_1q_1k_5$	q_1k_5	k_5	q_2k_5	$b_2q_2k_5$	b_2q_2	q_2	q_2k_2	$b_2q_2k_2$	k_2
(1)	(1a)	2a			2	2b	1b	(1b)	1b	6b	6			6a	(1c)
		(2a)	(2d)	(2c)	(2)	(2b)	(2e)						3	3c	3•
	4	4b	4						(3b)	(3d)	(3e)	(3a)	(3)	(3c)	3
	4	(4b)	(4)	(4a)	(4c)	2b	1b								
	7	7c	7						(6e)	(6b)	(6)	(6c)	(6d)	(6a)	
	7	(7c)	(7)	(7a)	(7e)	(7d)	(7b)						8	8b	8
									1b	6b	(8c)	(8a)	(8)	(8b)	8

Rys. 172. Tabela programu do przykładu 3: a) pierwszy etap wypełniania tabeli; b) drugi etap wypełniania

q_1 i q_2 potraktowano w tabeli programu jako takty wejściowe, przejście z taktu (2e) do taktu (3) może prowadzić przez różne kolumny, odpowiadające krańcowemu położeniu stołu, w którym jest naciśnięty łącznik K_2, a więc zawierające w swym oznaczeniu literę k_2 (w klasycznej metodzie *Huffmana* wszystkie takty przejściowe prowadzące do określonego taktu ustalonego występują zawsze tylko w kolumnie

tego ustalonego taktu docelowego). Zgodnie z przyjętą zasadą oznaczymy omawiane takty przejściowe numerem *3*.

Dojście stołu do prawego położenia krańcowego i naciśnięcie łącznika K_2 powoduje najpierw wyłączenie przekaźnika Q_1, czemu odpowiada takt przejściowy, leżący w wierszu drugim i w kolumnie k_2. W tym takcie zostaje załączony przekaźnik Q_2 oraz na razie nie oznaczony przekaźnik pośredniczący, powodujący przejście z wiersza drugiego do trzeciego. Wyścig, towarzyszący takiemu równoczesnemu załączeniu dwóch przakaźników, może spowodować, że następny takt przejściowy będzie się znajdował w trzecim wierszu tej samej kolumny, albo też w drugim wierszu w kolumnie q_2k_2. Ten ostatni takt przejściowy został już uwzględniony w tabeli (rys. 172a). Trzecie z kolei przejście prowadzi już do taktu ustalonego (3). Omówiony wyżej przebieg wyścigu zaznaczono na rys. 172b strzałkami. Oznaczenia te powtórzono dla analogicznych przejść, występujących między wierszami trzecim i czwartym, szóstym i siódmym oraz siódmym i ósmym.

Z uwagi na to, że w kolumnie k_2 nie występuje takt ustalony (3), można w tabeli programu pominąć w tej kolumnie oba takty przejściowe *3*. Uwaga ta dotyczy również taktów *8* w tej samej kolumnie i taktów 4 i 7 w kolumnie k_1.

Przechodzenie taktów przejściowych z jednej kolumny do drugiej występuje również pod koniec cyklu, gdy z taktu ustalonego (4a) układ przechodzi do taktu ustalonego (1b). Pierwszy takt przejściowy odpowiada naciśnięciu łącznika K_5 podczas drugiego z kolei posuwu stołu w prawo (kolumna $q_1 k_5$); przestawienie łącznika K_5 w położenie wymuszone najpierw przerywa obwód wzbudzenia przekaźnika A_1 (takt 1b w pierwszym wierszu kolumny $q_1 k_5$), a wyłączenie przekaźnika A_1 powoduje z kolei przerwanie obwodu wzbudzenia przekaźnika Q_1 i przejście w pierwszym wierszu z taktu *1b* do (1b)). Omówiony przebieg przejść i analogiczny przebieg przejść z taktu (8a) do (1b) również zaznaczono strzałkami na rys. 172b.

Oprócz omówionych wyżej taktów przejściowych dopisujemy jeszcze takt przejściowy *3c* i takt ustalony (3c) w kolumnie $b_2 k_2 q_2$. Takty te odpowiadają mało prawdopodobnej, lecz możliwej sytuacji, w której przycisk B_2 zostałby przypadkowo naciśnięty w momencie, gdy stół rozpoczął już posuw w lewo, lecz łącznik K_2 pozostaje jeszcze naciśnięty (dalsze przetrzymywanie przycisku B_2 w stanie wymuszonym powoduje przejście z taktu (3c) do (3e). Analogicznej sytuacji przy następnych zmianach kierunku posuwu stołu odpowiadają takty przejściowe i ustalone oznaczone numerami: *4b*, *7c* i *8b*.

Przypadki naciśnięcia przycisku B_1 lub B_2 w innych momentach przebiegu pracy obrabiarki w cyklu automatycznym zostały uwzględnione przez wpisanie taktów ustalonych: (4c), (7e), (7d), (6b), (3d). We wszystkich tych taktach naciśnięcie przycisku przekazuje do układu bierny sygnał wejściowy, dlatego też odpowiednia zmiana stanu wejść nie powoduje przeniesienia taktu ustalonego do następnego wiersza tabeli programu.

3.3.4. Siatki przejść i stanów. Przystępując do następnego etapu syntezy układu — do opracowania siatki przejść (rys. 173a) należy najpierw ustalić, ile przekaźników pośredniczących trzeba wprowadzić, aby wiersze tabeli programu (rys. 172b) rozmieścić w wierszach siatki przejść. Ponieważ w rozpatrywanym przykładzie sygnały wyjściowe są przekazywane do układu wyłącznie przez zestyki przekaźników A_1 i A_2, projektowany układ musi odpowiadać warunkom układu z wyjściami stycznikowymi. Znaczy to, że wiersze tabeli programu z taktami ustalonymi nr *2*, *3* i *4* trzeba umieścić w takich różnych wierszach siatki przejść, w oznaczeniach których będzie występował iloczyn $a_1 \bar{a}_2$ (iloczynu $a_1 a_2$ nie można brać pod uwagę, jako odpowiadającego nierealnej sytuacji, w której byłyby jednocześnie załączone oba przekaźniki *A*). Analogiczne uwagi dotyczą

a)

	0	k_1	$b_1q_1k_1$	q_1k_1	q_1	b_1q_1	$b_1q_1k_5$	q_1k_5	k_5	q_2k_5	$b_2q_2k_5$	b_2q_2	q_2	q_2k_2	$b_2q_2k_2$	k_2
0	(1)	(1a)	2a			2	2b	1b	(1b)	1	6b	6			6a	(1c)
a_1			(2a)	(2d)	(2c)	(2)	(2b)	(2e)						3	3c	3
a_1w		4	4b	4						(3b)	(3d)	(3e)	(3a)	(3)	(3c)	3
a_1wx		4	(4b)	(4)	(4a)	(4c)	2b	1b								
wx							2b	1b		1b	6b					
a_2wx										1b	6b	(8c)	(8a)	(8)	(8b)	8
a_2w		7	(7c)	(7)	(7a)	(7e)	(7d)	(7b)						8	8b	8
a_2		7	7c	7						(6e)	(6b)	(6)	(6c)	(6d)	(6a)	

b)

	0	k_1	$b_1q_1k_1$	q_1k_1	q_1	b_1q_1	$b_1q_1k_5$	q_1k_5	k_5	q_2k_5	$b_2q_2k_5$	b_2q_2	q_2	q_2k_2	$b_2q_2k_2$	k_2
0	0	0	A_1			A_1	A_1	0	0	0	A_2	A_2			A_2	0
a_1			A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1						A_1W	A_1W	A_1W
a_1w		A_1WX	A_1WX	A_1WX							A_1W	A_1W	A_1W	A_1W	A_1W	A_1W
a_1wx		A_1WX	A_1WX	A_1WX	A_1WX	A_1WX	WX	WX								
wx							0	0		0	0					
a_2wx										WX	WX	A_2WX	A_2WX	A_2WX	A_2WX	A_2WX
$a\ w$		A_2W	A_2W	A_2W	A_2W	A_2W	A_2W	A_2W						A_2WX	A_2WX	A_2WX
a_2		A_2W	A_2W	A_2W						A_2	A_2	A_2	A_2	A_2	A_2	

$A_1 A_2 WX$

c)

	0	k_1	$b_1q_1k_1$	q_1k_1	q_1	b_1q_1	$b_1q_1k_5$	q_1k_5	k_5	q_2k_5	$b_2q_2k_5$	b_2q_2	q_2	q_2k_2	$b_2q_2k_2$	k_2
0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0			0	0
a_1			0	0	0	0	0	0						0	0	0
a_1w		1	1	1						0	0	0	0	0	0	0
a_1wx		1	1	1	1	1	1	1								
wx							0	0		0	0					
a_2wx										1	1	1	1	1	1	1
a_2w		0	0	0	0	0	0	0						1	1	1
a_2		0	0	0						0	0	0	0	0	0	

X

Rys. 173. Siatki przejść i stanów do przykładu 3: a) siatka przejść; b) siatka stanów; c) siatka stanów przekaźnika *X*.

trzech wierszy tabeli z taktami ustalonymi, oznaczonymi numerami *6*, *7*, i *8*. Spełnienie omówionych warunków rozmieszczenia wierszy tabeli w siatce przejść wymaga więc zastosowania dwóch przekaźników pośredniczących. Oznaczono je przez W i X.

Jak zawsze pierwszy wiersz tabeli programu, odpowiadający stanowi wyjść 0 oraz beznapięciowemu stanowi wszystkich przekaźników, przydzielono do pierwszego wiersza siatki przejść (wiersza 0). Wiersze tabeli: drugi, trzeci i czwarty można umieścić w dowolnych trzech spośród czterech następujących wierszy siatki przejść: $a_1 \bar{a}_2 \overline{wx}$, $a_1 \bar{a}_2 \bar{w} x$, $a_1 \bar{a}_2 wx$ lub $a_1 \bar{a}_2 w\bar{x}$. Najlepiej jest zapewnić między kolejnymi wierszami tabeli programu przejścia bezwyścigowe, przydzielając drugi wiersz tabeli do wiersza $a_1 a_2 wx$ siatki (w oznaczeniu uproszczonym a_1), trzeci wiersz tabeli do $a_1 \bar{a}_2 w\bar{x}$ (oznaczenie uproszczone $a_1 w$) i czwarty wiersz do $a_1 \bar{a}_2 wx$ (w notacji uproszczonej $a_1 wx$).

Zakończenie pracy w cyklu prawym przypada na pole, leżące w czwartym wierszu, w kolumnie $q_1 k_5$ tabeli (rys. 172b), w którym wpisano takt przejściowy *1b*, prowadzący do taktu ustalonego (1b). W opracowywanej siatce stanów pole to znajduje się w wierszu $a_1 wx$. Wpisanie w nim bezpośrednio „adresu" pola (1b) ze stanem 0, daje przejście z wyścigiem, prowadzącym przez wszystkie kombinacje wartości sygnałów a_1, w i x, zmieniających jednocześnie wartość 1 na 0. Wśród tych kombinacji znajduje się również sytuacja $a_1 \overline{wx}$, gdy przekaźniki W i X otworzyły swe zestyki zwierne wcześniej niż przekaźnik A_1. Takiemu taktowi odpowiada pole leżące w wierszu a_1 i w kolumnie $q_1 k_5$. W polu tym jednak znajduje się już takt ustalony (2e). Wyścig, towarzyszący omawianemu przejściu z taktu (4a) do (1b), jest więc wyścigiem krytycznym, omawiane przejście należy zatem poprowadzić inaczej. Można poprostu z wiersza $a_1 wx$ przejść do wiersza wx, a stamtąd bezpośrednio do wiersza 0. Wprawdzie temu ostaniemu przejściu towarzyszy również wyścig, prowadzi on jednak przez wiersze, dla których $a_1 = 0$ i $a_2 = 0$, i które nie są uwzględnione w siatce przejść, co oznacza, że taki wyścig nie jest krytycznym. Przejście poprowadzone przez wiersze wx zostało zaznaczone w siatce (rys. 173a) strzałkami.

Przejście z taktu (4a) do taktu (2b) w kolumnie $b_1 q_1 k_5$ może być poprowadzone z wyścigiem, prowadzącym bezpośrednio z wiersza $a_1 wx$ do wiersza a_1. Ponieważ jednak siatka przejść prowadzi do tym prostszych wyrażeń strukturalnych, im mniej występuje w niej różnorodnych przejść, również i to ostatnie przejście poprowadzimy tak samo jak i poprzednie, przez wiersz wx.

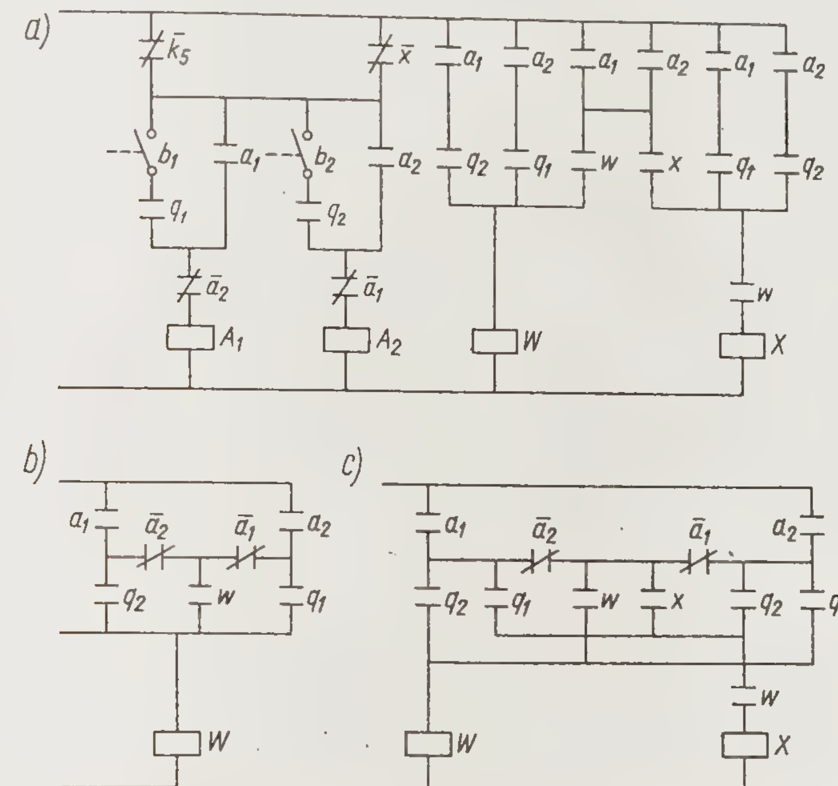
Wiersze tabeli z taktami ustalonymi o numerach *6*, *7* i *8* rozmieszczono w siatce w podobny sposób. Można przy tym zachować poprzednią kolejność przejść: $a_2 \to a_2 w \to a_2 wx \to wx \to 0$, albo też kolejność: $a_2 \to a_2 x \to a_2 wx \to \to wx \to 0$. Oczywiście zachowanie tej samej kolejności przejść prowadzi do prostszych wyrażeń strukturalnych i dlatego przyjęto pierwszą kolejność.

Na podstawie siatki przejść sporządzamy siatkę stanów przekaźników A_1, A_2, W i X (rys. 173b). Mimo, że siatka ta obejmuje szesnaście kolumn, ustalenie na jej podstawie wyrażeń strukturalnych obwodów wzbudzenia przekaźników nie nastręcza trudności. Dla przykładu podano siatkę stanów wzbudzenia przekaźnika X (rys. 173c), której pola jedynkowe można łatwo zgrupować w cztery podgrupy, jak to zaznaczono na rysunku 1) $a_1 k_1 w$; 2) $a_2 k_2 w$; 3) $a_1 x$; 4) $a_2 x$, a zatem $X = (a_1 k_1 + a_2 k_2) w + (a_1 + a_2) x$: Zamiast $a_1 x$ i $a_2 x$ można również przyjąć $a_1 wx$ i $a_2 wx$, a wtedy $X = [a_1 k_1 + a_2 k_2 + (a_1 + a_2) x] w$. $A_1 = (b_1 q_1 + + a_1) \bar{a}_2 (\bar{k}_5 + x)$; $A_2 = (b_2 q_2 + a_2) \bar{a}_1 (\bar{k}_5 + \bar{x})$; $W = a_1 k_2 + a_2 k_1 + (a_1 + a_2) w$.

Zwróćmy jeszcze uwagę, że przekaźnik W zostaje załączony z chwilą dojścia stołu do pierwszego położenia krańcowego i pierwszej zmiany zwrotu posuwu stołu. Podobnie przekaźnik X zostaje załączony z chwilą, gdy stół, po wy-

cofaniu się z pierwszego położenia krańcowego dojdzie do położenia drugiego i ponownie zmieni zwrot swego posuwu. Przekaźniki te są więc przekaźnikami pamięci dojścia stołu do pierwszego (W) i drugiego (X) położenia krańcowego. W określeniu tym, jak zresztą w dalszym ciągu omawiania projektowanego układu, pierwszym położeniem krańcowym nazywano położenie, w którym po raz pierwszy zmienia się zwrot posuwu stołu.

Wspomniano poprzednio, że w tabeli programu z rys. 172b można było pominąć takty przejściowe *3* i *8* w kolumnie k_2 oraz *4* i *7* w kolumnie k_1. W takim wariancie w tabeli programu w polach pominiętych taktów pozostaną stany obojętne. A więc wyrażenia strukturalne ustalone na podstawie siatki stanów z rys. 173b będą również odpowiadały nowemu wariantowi siatki. Można jednak wykorzystać te stany obojętne do zmiany wyrażeń strukturalnych W i X, polegającej na zmianie liter k_1 i k_2 na q_1 i q_2. Taki właśnie wariant przedstawia schemat na rys. 174a.



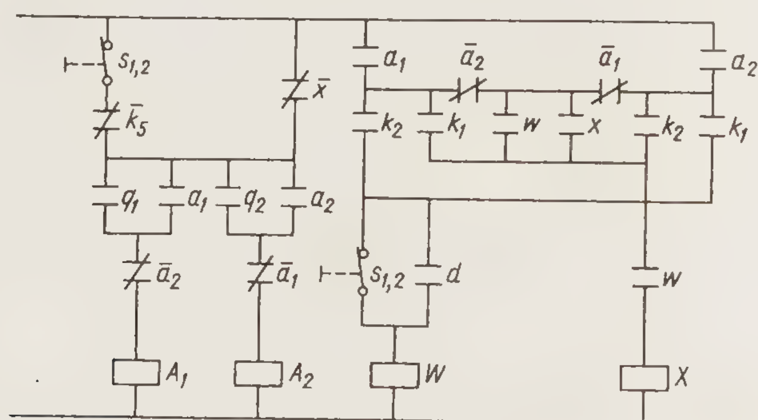
Rys. 174. Schemat układów w/g siatek z rys. 173 a) według otrzymanych wyrażeń strukturalnych; b) wyjaśnienie uproszczenia obwodów; c) schemat obwodów wzbudzenia W i X po uproszczeniu

3.3.5. Dalsze przekształcenia i uzupełnienia schematu. Ponieważ przekaźniki A_1 i A_2 nie są nigdy załączone jednocześnie, można zamiast a_1 przyjąć $a_1 \bar{a}_2$, zamiast zaś $a_2 - \bar{a}_1 a_2$. Wtedy wspólny człon $a_1 + a_2$ obwodów W i X będzie miał postać $a_1 \bar{a}_2 + \bar{a}_1 a_2$. Pozwoli to zmienić obwód wzbudzenia przekaźnika W na obwód mostkowy, pokazany na rys. 174b. Takie przekształcenie obwodów wzbudzenia przekaźników W i X pozwala na redukcję zestyków, pokazaną na rys. 174c. W ten sposób można oszczędzić dwa zestyki — po jednym z każdego przekaźnika A. Jeżeli zaś przekaźniki te są wyposażone w zestyki przełączające, to wariant obwodu rys. 174c. umożliwia zaoszczędzenie dwóch zestyków przełączających na każdym przekaźniku.

Pozostaje jeszcze tak uzupełnić otrzymany układ, aby odpowiadał on również programowi pracy obrabiarki w dwóch pozostałych cyklach.

Cykl nr 1 powinien zakończyć się wcześniej, niż cykl nr 2; tzn. z chwilą powrotu stołu do lewego skrajnego położenia w cyklu prawym, do prawego zaś — w cyklu lewym. Przy omawianiu otrzymanych wyrażeń strukturalnych moment ten nazwano „drugim dojściem do położenia krańcowego” i stwierdzono, że odpowiada mu załączenie przekaźnika pośredniczącego X. Wynika stąd, że sygnałem zakończenia cyklu nr 1 (wyłączenie przekaźnika A_1, bądź też A_2) będzie sygnał $\bar{x}$, zamiast sygnału $\bar{k}_5+\bar{x}$ w cyklu nr 2. Wystarczy więc między zestyk $\bar{k}_5$ w obwodzie przekaźników A i przewód zasilający wstawić zestyk s_2 przełącznika selekcyjnego S. Ponieważ cykl nr 1 kończy się z chwilą dojścia stołu do łącznika K_1 lub K_2, jest pożądane, aby wyłączenie przekaźnika A nastąpiło, zanim po wyłączeniu posuwu w jednym zwrocie zostanie załączony posuw w zwrocie przeciwnym. Dlatego należy uznać jako poprawniejsze takie rozwiązanie obwodu przekaźnika X, w którym zostaje on zamknięty przez zwierny zestyk łącznika K_1 lub K_2, a nie przez zestyk przekaźnika Q_1 czy też Q_2.

Cykl nr 3 (podwójny) kończy się w tym samym punkcie co cykl nr 1, to znaczy w drugim krańcowym położeniu stołu. Położenie to, w prawym cyklu krańcowe lewe, w lewym zaś krańcowe prawe, jest sygnalizowane przez załączenie przekaźnika pamięci X. Różnica między cyklem nr 3 a cyklem nr 1 polega na tym, że w cyklu nr 3 wyłączenie obrabiarki powinno nastąpić z chwilą powtórnego dojścia stołu do drugiego położenia krańcowego. Aby załączenie przekaźnika X mogło być wykorzystane jako sygnał zakończenia cyklu również w cyklu nr 3, przekaźnik ten powinien zostać załączony dopiero przy drugim dojściu stołu do drugiego położenia krańcowego. Jak wiadomo, przekaźnik X zostaje załączony jedynie wtedy, gdy w poprzednim krańcowym położeniu stołu został załączony przekaźnik W. Sygnał zakończenia pracy w cyklu nr 3 (załączenia X) pojawi się więc we właściwym momencie, jeżeli przekaźnik W zostanie załączony dopiero przy powtórnym dojściu stołu do pierwszego położenia krańcowego. Aby uzyskać odpowiednią zmianę momentu załączenia przekaźnika W należy porównać stan sygnałów przy obu kolejnych dojściach stołu do pierwszego położenia krań-



Rys. 175. Schemat układu po uproszczeniu i po rozszerzeniu na pracę w innych cyklach

cowego. Z porównania wynika, że przy powtórnym dojściu stołu do tego punktu załączony jest przekaźnik doskoku wrzeciennika D, który to przekaźnik nie był jeszcze załączony przy pierwszym dojściu do pierwszego położenia krańcowego. Jeżeli więc w obwód przekaźnika W zostanie włączony zestyk d, to uzyska się żądany efekt załączenia tego przekaźnika nie pierwszym, lecz dopiero przy drugim dojściu stołu do pierwszego położenia krańcowego, a wtedy przekaźnik X zostanie załączony z chwilą dojścia stołu do następnego położenia krańcowego. W tym punkcie zostanie więc cykl zakończony, zgodnie z programem sterowania

w cyklu nr 3. Równolegle z zestykiem d w obwodzie przekaźnika W trzeba połączyć zestyk $s_{1,2}$ przełącznika selekcyjnego S. W taki sposób zestyk d nie będzie opóźniał załączenia przekaźnika W w cyklach nr 1 i 2.

Schemat tak uzupełnionego układu przedstawiono na rys. 175. W obwodzie przekaźnika X zastosowano zestyki k_1 i k_2 zamiast zestyków q_1 i q_2 zgodnie z podaną wyżej uwagą o wcześniejszym załączaniu przekaźnika X przez zestyki k, niż przez zestyki q. W schemacie (rys. 175) wprowadzono taką samą zmianę w obwodzie przekaźnika W, chociaż w tym przypadku zmiana ta nie ma znaczenia z punktu widzenia poprawności pracy układu. W schemacie pominięto zestyki b_1 i b_2. Pominięcie to zostanie uzasadnione w punkcie 4.

4. Redukcja kolumn uproszczonej tabeli programu

W uproszczonej tabeli programu można nie tylko przeprowadzić dodatkowo redukcję wierszy na takich samych zasadach, jak w przypadkach pełnej tabeli programu, lecz również redukcję kolumn. Z przykładem redukcji wierszy uproszczonej tabeli programu zapozna się czytelnik w następnym punkcie 5, redukcja zaś kolumn zostanie omówiona poniżej.

Połączenie dwóch lub więcej kolumn uproszczonej tabeli programu możliwe jest wtedy, gdy dotyczy ono kolumn, odpowiadających wszystkim kombinacjom wartości jednego, lub więcej sygnałów wejściowych oraz gdy w odpowiednich polach redukowanych kolumn, tak samo jak jest to wymagane przy redukowaniu wierszy tabeli, znajdują się albo takie same stany, albo też występują stany obojętne. Kolumny można łączyć, jeżeli tylko odpowiednie takty mają jednakowe oznaczenia liczbowe, mimo, że wskaźniki literowe taktów różnią się między sobą.

Dwie kolumny uproszczonej tabeli programu można więc połączyć w jedną, jeżeli poza zgodnością stanów w odpowiednich polach, odpowiadają im sąsiednie stany wejść (różniące się wartością tylko jednego sygnału). Takie warunki spełnia, na przykład, para kolumn *2* i *9*. Kolumna *2* odpowiada stanowi wejść $k_1 \ \varphi \ q_1$, kolumna zaś *9* stanowi $k_1 \ \varphi \ q_1$, gdzie φ oznacza wszystkie sygnały wejściowe, mające w obu kolumnach wartość 0. Po połączeniu tych kolumn nowa kolumna będzie odpowiadała stanowi wejść $k_1 \varphi = k_1 \bar{k}_2 \bar{k}_4 \bar{q}_2 \bar{b}_1 \bar{b}_2$, w którym to stanie wartość sygnału q_1 może być dowolna ($q_1+\bar{q}_1 = 1$). W przyjętej, uproszczonej notacji literowej nie można nowej kolumny oznaczyć jedną literą k_1, ponieważ oznaczenie takie obejmowałoby sygnał $q_1 = 0$, nie obejmowałoby natomiast sygnału $\cancel{q}_1 = 1$ Dla połączonych kolumn wprowadzono więc odmianę przyjętej notacji, wpisując przekreśloną literą zredukowanego sygnału. Dla kolumny powstałej z połączenia kolumn *2* i *9* oznaczenie to przybiera postać $k_1 \cancel{q}_1$.

Można również przeprowadzić redukcję czterech kolumn w jedną, jeżeli kolumny te odpowiadają czterem różnym kombinacjom wartości dwóch sygnałów przy nie zmienionej wartości sygnałów pozostałych. Na taką redukcję pozwalają kolumny *6*, *9*, *8* i *5* w ich oznaczeniach powtarza się bowiem sygnał $q_1 = 1$, natomiast sygnały b_1 i k_1 występują we wszystkich czterech kombinacjach; $b_1 k_1$ w kolumnie *6*, $\bar{b}_1 k_1$ w kolumnie *9*, $\bar{b}_1 \bar{k}_1$ w kolumnie *8* i $b_1 \bar{k}_1$ w kolumnie *5*. Łączymy zatem te cztery kolumny w jedną, oznaczając otrzymaną kolumnę zgodnie z umową przez $q_1 \cancel{b}_1 \cancel{k}_1$. W podobny sposób kolumny *14*, *12*, *11* i *15* można połączyć w jedną kolumnę $q_2 \cancel{b}_2 \cancel{k}_2$. Można wreszcie przeprowadzić podobną redukcję kolumn *3*, *10* i *13* w oznaczeniach których występują odpowiednio iloczyny: $\bar{q}_1 \bar{q}_2$, $q_1 \bar{q}_2$, $\bar{q}_1 q_2$. Przy redukcji, potrzebna byłaby jeszcze kolumna z iloczynem $q_1 q_2$. Kolumna taka nie figuruje w tabeli programu, co oznacza, że wszystkim jej polom odpowiadają stany obojętne. Jest to całkowicie zrozumiałe, ponie-

waż iloczyn $q_1 q_2$ oznacza jednoczesne załączenie posuwu w prawo i w lewo. Tę brakującą kolumnę dołączamy w myśli do pozostałych trzech i tak skompletowaną grupę redukujemy do jednej kolumny ze stanem wejść $k_4 \not{q}_1 \not{q}_2$. Na rysunku 176a przedstawiono tabelę programu po przeprowadzeniu omówionej redukcji z szesnastu od ośmiu kolumn. Po redukcji kolumn litery b_1 oraz b_2 nie są konieczne do ich identyfikacji, co oznacza że jako sygnał załączenia przekaźnika A_1 wystarczy q_1, dla załączenia zaś przekaźnika A_2 sygnał q_2.

Od tak zredukowanej tabeli programu przechodzimy do siatki przejść, a następnie do siatki stanów (rys. 176b). W tej ostatniej niektóre zapisy w kolumnach $q_1\not{b}_1\not{k}_1$ i $q_2\not{b}_2\not{k}_2$ zostały wykreślone z powodów, które zostaną wkrótce wyjaśnione. Na razie bierzemy pod uwagę siatkę stanów łącznie z jej stanami wykreślonymi. Ustalając na podstawie siatki wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia przekaźników otrzymuje się dla A_1 i A_2 wyniki identyczne z otrzymanymi poprzednio. Natomiast wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia przekaźników W i X, ustalone na podstawie siatki z rys. 176b nie są wyrażeniami zminimalizowanymi, przyjmą bowiem postać

a)

0	k_1	$q_1\not{b}_1\not{k}_1$	$b_1 q_1 k_5$	$k_5\not{q}_1\not{q}_2$	$b_2 q_2 k_5$	$q_2\not{b}_2\not{k}_2$	k_2
(1)	(1a)	2	2b	(1b)	6b	6	(1c)
		(2)	(2b)	(2e)		~~3~~	3
	4	~~4~~		(3b)	(3d)	(3)	3
	4	(4)	2b	1b			
	7	~~7~~		(6e)	(6b)	(6)	
	7	(7)	(7d)	(7b)		~~8~~	8
				1b	6b	(8)	8

b)

	0	k_1	$q_1\not{b}_1\not{k}_1$	$b_1 q_1 k_5$	$k_5\not{q}_1\not{q}_2$	$b_2 q_2 k_5$	$q_2\not{b}_2\not{k}_2$	k_2	
0	0	0	A_1	A_1	0	A_2	A_2	0	1
a_1			A_1	A_1	A_1		~~A_1W~~	A_1W	2
a_1w		A_1WX	~~A_1WX~~		A_1W	A_1W	A_1W	A_1W	3
a_1wx		A_1WX	A_1WX	WX	WX				4
wx				0	0	0			
a_2wx					WX	WX	A_2WX	A_2WX	8
a_2w		A_2W	A_2W	A_2W	A_2W		~~A_2WX~~	A_2WX	7
a_2		A_2W	~~A_2W~~		A_2	A_2	A_2		6

$A_1 A_2 WX$

Rys. 176. Tabela programu i siatka stanów do przykładu 3 po przeprowadzeniu redukcji kolumn: a) tabela programu; b) siatka stanów

$$W = a_1(k_2+q_2)+a_2(k_1+q_1)+(a_1+a_2)\, w;$$
$$X = [a_1(k_1+q_1)+a_2(k_2+q_2)]\, w+(a_1+a_2)\, x =$$
$$= [a_1(k_1+q_1)+a_2(k_2+q_2)+(a_1+a_2)\, x]\, w$$

Przyczynę uzyskania wyrażeń strukturalnych, odpowiadających obwodom wprawdzie funkcjonalnie poprawnym, lecz zawierającym zbyteczne zestyki, wyjaśnimy na przykładzie taktów przejściowych *7* i *7c* z tabeli na rys. 172b. Takty te występują zarówno w kolumnie k_1, która nie ulega redukcji, jak również w kolumnach $b_1 q_1 k_1$ oraz $q_1 k_1$, które zredukowane zostały do kolumny $q_1\not{b}_1\not{k}_1$. Litera k_1 (rys. 172a) obejmuje wszystkie te trzy kolumny, a więc iloczyn $a_2 k_1$ — wszystkie pola z taktami przejściowymi nr *7*. Po przeprowadzeniu redukcji obie kolumny $b_1 q_1 k_1$ i $q_1 k_1$ zostały włączone do kolumny $q_1\not{b}_1\not{k}_1$, która nie może być oznaczona symbolem k_1. Symbol ten odnosi się bowiem jedynie do dwóch spośród czterech kolumn objętych oznaczeniem $q_1\not{b}_1\not{k}_1$. Ponieważ jednak takt nr *7* w dwóch pozostałych kolumnach nie występuje, można go wykreślić w kolumnie $q_1\not{b}_1\not{k}_1$ (rys. 176a), a co za tym idzie wykreślić również zapis $A_2 W$ w ostatnim polu kolumny $q_1\not{b}_1\not{k}_1$ (rys. 176b), jako zbędną podgrupę.

Aby wykryć takie zbędne podgrupy (co pozwoli na ich wyeliminowanie z wyrażeń strukturalnych, ustalonych na podstawie siatki stanów ze zredukowanymi kolumnami), zaleca się sporządzić dla każdego przekaźnika siatkę stanów z nie zredukowanymi kolumnami (jak rys. 173c) oraz siatkę ze zredukowanymi kolumnami. Jeżeli ustalenie wyrażenia strukturalnego na podstawie siatki większej sprawia trudności, to ustalamy je na podstawie siatki o mniejszej liczbie kolumn, a więc siatki ze zredukowanymi kolumnami, a następnie nanosząc kontury podgrup na siatce większej sprawdzamy, czy wyrażenie nie zawiera podgrup zbędnych.

Sporządzanie siatek dla różnych przekaźników można ułatwić w ten sposób, że siatkę ogólną (dla wszystkich przekaźników) rysuje się tuszem na papierze, a siatki dla poszczególnych przekaźników oraz sprawdzanie wyrażeń przeprowadza się ołówkiem na kalce technicznej, położonej na siatce ogólnej.

Sprawdzając w ten sposób wyrażenia strukturalne wszystkich czterech przekaźników (A_1, A_2, W i X) stwierdzimy, że w siatkach na rys. 176 można wykreślić zapisy stanów w dwóch polach kolumny $q_1\not{b}_1\not{k}_1$ i w dwóch polach kolumny $q_2\not{b}_2\not{k}_2$. Z tak wypełnionej siatki otrzymuje się wyrażenia bez zbędnych podgrup, a jednocześnie bez symboli b_1 i b_2.

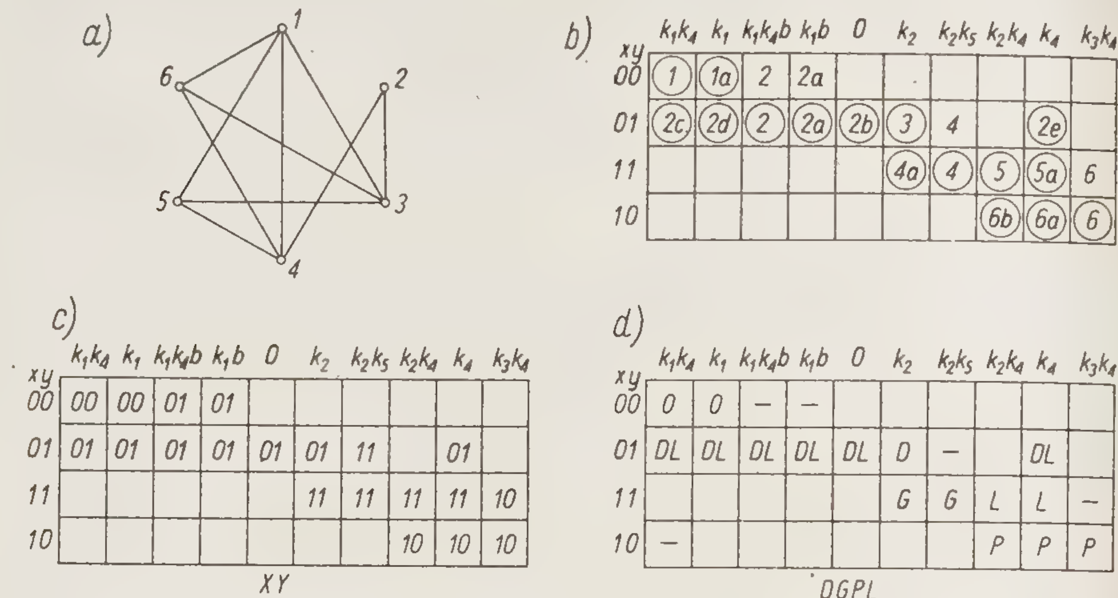
5. Synteza układu z wyjściami przekaźnikowymi

Opracowanie tabeli programu według zasad ustalonych i omówionych w tym rozdziale daje w wyniku od razu tabelę zredukowaną w zakresie, odpowiadającym syntezie układu z wyjściami stycznikowymi. Nie znaczy to, że dalsza redukcja wierszy takiej tabeli nie jest już możliwa, prowadzi ona jednak do układu z wyjściami przekaźnikowymi. Możliwość przeprowadzenia takiej redukcji sygnalizowano już w przykładzie 1, przy omawianiu tabeli programu pokazanej na rys. 165a.

Redukcję wierszy uproszczonej tabeli programu przeprowadza się tak samo, jak redukcję pełnej tabeli w klasycznej metodzie *Huffmana*. Z wykresu redukcyjnego (rys. 177a), sporządzonego dla uproszczonej tabeli z rys. 165a, wynika, że w tabeli sześć wierszy można w różnoraki sposób zredukować do trzech. Do realizacji układu z wyjściami przekaźnikowymi trzeba więc użyć dwóch przekaźników pośredniczących, które oznaczymy przez X i Y. Siatka przejść będzie miała cztery wiersze, podczas gdy zredukowana tabela programu mieści się w trzech wierszach. Ponieważ tylko w pierwszym wierszu nie zredukowanej tabeli programu występują takty ze stanem wyjść 0, celowe będzie nie łączyć tego wiersza z innymi, a pozostałe pięć wierszy tabeli rozmieścić w pozostałych trzech wierszach siatki przejść. Najwygodniej jest tak rozmieścić wiersze tabeli, aby kolejne przejścia między taktami ustalonymi zachodziły albo w obrębie tego samego wiersza siatki przejść, albo też między jej sąsiednimi wierszami. Z wykresu redukcyjnego wynika, że istnieje tylko jedna możliwość spełnienia takiego warunku, a mianowicie rozmieszczenie taktów w siatce przejść, jak to zostało przeprowadzone w siatce na rys. 177b. Ponieważ siatka ta zawiera jedynie cztery wiersze, dla ich oznaczenia powrócimy do notacji cyfrowej. Również pola siatki stanów zostaną wypełnione w notacji cyfrowej, a nie literowej (rys. 177c). Natomiast pola siatki wyjść ze względu na stosunkowo dużą liczbę obwodów wyjściowych (rys. 177d) wygodniej jest wypełnić zapisami w notacji literowej.

W polach siatki wyjść, które odpowiadają taktom przejściowym z obojętnymi

stanami wyjść wpisano kreski. Tak np. w takcie przejściowym *4* wpisana kreska oznacza, że wyłączenie posuwu w dół i załączenie posuwu w górę może nastąpić już w tym takcie przejściowym, albo też — równie dobrze — w takcie ustalonym ④. Pola, przez które nie przechodzi żaden takt, pozostawiono puste.



b)

xy	k_1k_4	k_1	k_1k_4b	k_1b	0	k_2	k_2k_5	k_2k_4	k_4	k_3k_4
00	(1)	(1a)	2	2a						
01	(2c)	(2d)	(2)	(2a)	(2b)	(3)	4		(2e)	
11						(4a)	(4)	(5)	(5a)	6
10								(6b)	(6a)	(6)

c)

xy	k_1k_4	k_1	k_1k_4b	k_1b	0	k_2	k_2k_5	k_2k_4	k_4	k_3k_4
00	00	00	01	01						
01	01	01	01	01	01	01	11		01	
11						11	11	11	11	10
10								10	10	10

XY

d)

xy	k_1k_4	k_1	k_1k_4b	k_1b	0	k_2	k_2k_5	k_2k_4	k_4	k_3k_4
00	0	0	—	—						
01	DL	DL	DL	DL	DL	D	—		DL	
11						G	G	L	L	—
10	—							P	P	P

DGPL

Rys. 177. Synteza układu z przykładu 1 z wyjściami przekaźnikowymi: a) wykres redukcyjny; b) zredukowana tabela programu; c) siatka stanów wzbudzenia przekaźników pośredniczących; d) siatka wyjść

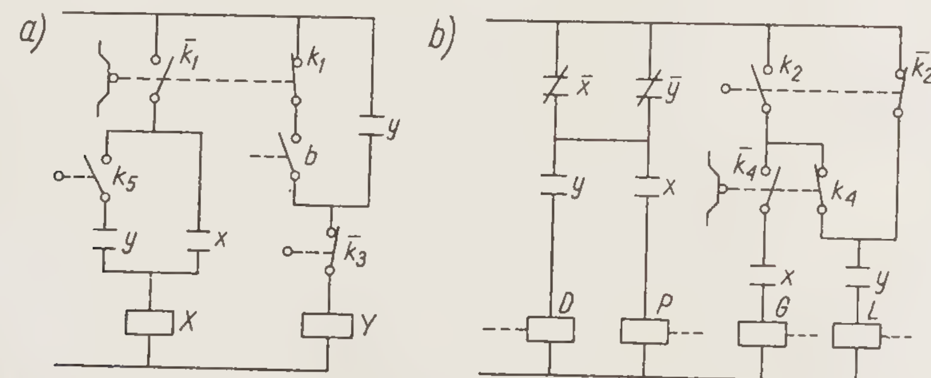
Z siatki stanów można ustalić następujące wyrażenia strukturalne

$$X = (k_5 y + x)\,\bar{k}_1; \qquad Y = (k_1 b + y)\,\bar{k}_3;$$

natomiast z siatki wyjść wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia elektrozaworów, albo też sprzęgieł elektromagnetycznych D, G, P i L

$$D = \bar{x}y; \qquad G = xk_2\bar{k}_4; \qquad P = x\bar{y}; \qquad L = (\bar{k}_2 + k_4)\,y$$

Wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia przekaźników pośredniczących X i Y można przedstawić w bardziej zminimalizowanej postaci, opuszczając w wyrażeniu X literą y, w wyrażeniu zaś Y literę k_1. Uproszczenie takie powodowałoby jednak, że w przypadku nie przewidzianej przerwy w zasilaniu układu w momencie, gdy jednostka *2W* znajduje się w dolnym położeniu ($k_5 = 1$), z chwilą powrotu napięcia zostanie samoczynnie załączony przekaźnik X; urucho-

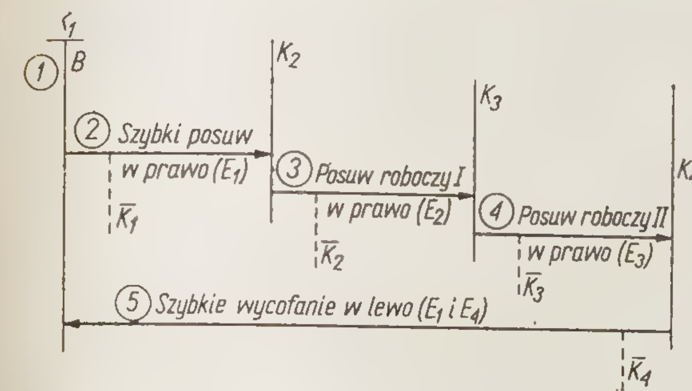


Rys. 178. Schemat układu według siatki stanów i wyjść z rys. 177

mienie obrabiarki przyciskiem B byłoby możliwe również wtedy, gdy jednostka *1W* znajduje się poza swym położeniem wyjściowym. Na rys. 178 przedstawiono schematy projektowanego układu. Zostały one tak opracowane, aby zapewnić możliwość wykorzystania par zestyków przełączających bez wprowadzania zmian do znalezionych wyżej wyrażeń strukturalnych. W tym celu w obwodach wzbudzenia elektrozaworów D i P wykorzystano przekształcenie, zilustrowane na rys. 96, obwody zaś elektrozaworów G i L przekształcono według zasady, podanej na rys. 92, wykorzystując fakt, że w jednym z nich występuje człon $k_2\bar{k}_4$, w drugim zaś człon $\bar{k}_2 + k_4$, będący dopełnieniem tamtego.

6. Synteza układu ze stabilizowanymi łącznikami drogowymi

P r z y k ł a d 4. Zaprojektować układ sterowania posuwami jednostki pracującej w cyklu, którego diagram przedstawiono na rys. 179. W diagramie tym grube poziome linie oznaczają kolejne odcinki posuwu jednostki, strzałki oznaczają zwrot posuwu, litera E z odpowiednim wskaźnikiem cyfrowym — oznaczenie elektrozaworu załączonego podczas danego posuwu, cyfra w kółku — numer taktów ustalonych w okresie danego posuwu; cienkie linie pionowe oznaczają przestawienia łączników wysyłających sygnały wejściowe, litera obok linii pionowej oznacza symbol odpowiedniego łącznika, linie przerywane odnoszą się do sygnałów wejściowych biernych. Symbol łącznika z kreską u góry oznacza powrót łącznika do położenia spoczynkowego. K_1 nad pierwszą kreską oznacza, że w położeniu wyjściowym jednostki jest naciśnięty łącznik K_1; litera B obok pierwszej kreski, naciśnięcie przycisku „start” oznaczonego literą B.



Rys. 179. Diagram posuwów obrabiarki do przykładu 4

k_1	bk_1	0	k_2	k_3	k_4	
(1)	2					0
(2a)	(2)	(2b)	3			E_1
		(3a)	(3)	4		E_2
		(4a)		(4)	5	E_3
1		(5a)	(5c)	(5b)	(5)	E_1E_4

Rys. 180. Tabela programu do przykładu 4

Informacje, zawarte w diagramie pozwalają na sporządzenie od razu uproszczonej tabeli programu z pominięciem tabeli opisowej, od której zawsze w tym rozdziale rozpoczynano syntezę. Chociaż w prostszych przypadkach sporządzanie tabeli opisowej nie jest konieczne, to jednak opracować ją warto i w takich przypadkach, choćby jako dokument zawierający założenia do układu, podane w formie zwięzłej i zrozumiałej dla konstruktora obrabiarki.

Z uwagi na charakter obwodów wyjściowych (obwody wzbudzenia elektrozaworów) należy opracować układ z wyjściami przekaźnikowymi. Z tabeli programu (rys. 180) widać wyraźnie, że można w niej połączyć jedynie wiersz pierwszy z trzecim, albo czwartym, albo piątym. Siatka przejść będzie więc wymagała dwóch przekaźników pośredniczących X i Y. Połączmy wiersz pierwszy

z piątym (rys. 181a). Z podanych na rys. 181 siatek nietrudno ustalić wyrażenia strukturalne projektowanych obwodów wzbudzenia

$$X = (k_2 y + x)\,\bar{k}_4; \qquad Y = (bk_1 + y)\,\bar{k}_3; \qquad E_1 = \bar{x}\,(\bar{k}_1 + y); \qquad E_2 = xy;$$
$$E_3 = x\bar{y}; \qquad E_4 = \bar{k}_1\,\bar{x}\bar{y}$$

a)

xy	k_1	bk_1	0	k_2	k_3	k_4
00	(1)	2	(5a)	(5c)	(5b)	(5)
01	(2a)	(2)	(2b)	3		
11			(3)	(3)	4	
10			(4a)		(4)	5

b)

xy	k_1	bk_1	0	k_2	k_3	k_4
00	00	01	00	00	00	00
01	01	01	01	11		
11			11	11	10	
10			10		10	00

XY

c)

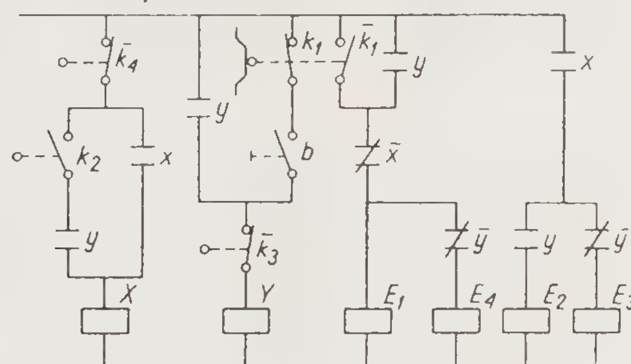
xy	k_1	bk_1	0	k_2	k_3	k_4
00	0	–	E_1E_4	E_1E_4	E_1E_4	E_1E_4
01	E_1	E_1	E_1	–		
11			E_2	E_2	–	
10			E_3		E_3	–

$E_1E_2E_3E_4$

Rys. 181. Siatki: a) przejść, b) stanów, c) wyjść do przykładu 4

Na rysunku 182 przedstawiono schemat obwodowy projektowanego układu, z zasilaniem ze wspólnego źródła przekaźników i elektrozaworów.

Na przeszkodzie większej redukcji tabeli programu (rys. 180) stoją takty ustalone, zanotowane w kolumnie *0*. Takty te, począwszy od taktu (2b), odpowiadają sytuacji, gdy po minięciu odpowiedniego łącznika drogowego jednostka znajduje się na odcinku posuwu, na którym żaden z łączników drogowych nie



Rys. 182. Schemat układu do przykładu 4

znajduje się w położeniu wymuszonym. Jeżeli jako łączniki drogowe K_2 i K_3 zastosuje się łączniki stabilizowane (z napędem nie zwrotnym), to takty nr *3* i *4* nie przejdą przez pola, położone w kolumnie 0, ponieważ przez cały czas posuwu w tym samym zwrocie łącznik stabilizowany będzie pozostawał w położeniu wymuszonym. Wolne pola w trzecim i czwartym wierszu kolumny 0 pozwolą zredukować tabelę programu do dwóch zaledwie wierszy, a wtedy do realizacji układu wystarczy jeden tylko przekaźnik pośredniczący *X*. Siatkę przejść dla tak zredukowanej tabeli programu przedstawiono na rys. 183a, siatkę stanów przekaźnika *X* — na rys. 183b, siatkę wyjść na rys. 183c.

Z tych siatek można otrzymać następujące wyrażenia strukturalne

$$X = (bk_1 + x)\,\bar{k}_4; \qquad E_1 = (\bar{k}_1 + x)\,(\bar{k}_2 + \bar{x}); \qquad E_2 = k_2\,\bar{k}_3\,x; \qquad E_3 = k_2\,k_3\,x;$$
$$E_4 = \bar{k}_1\,\bar{x}.$$

Na rysunku 183d przedstawiono schemat obwodowy układu. W schemacie tym wprowadzając algebraiczną zmianę do wyrażenia strukturalnego elektrozaworu E_4, a mianowicie $E_4 = \bar{k}_1\,\bar{x} = (\overline{k_1 + x})\,\bar{x}$, uzyskano redukcję zestyku k_1 w obwodzie wzbudzenia E_4.

a)

x	k_1	bk_1	0	k_2	k_2k_3	$k_2k_3k_4$
0	(1)	2	(5a)	(5c)	(5b)	(5)
1	(2a)	(2)	(2b)	(3)	(4)	5

b)

x	k_1	bk_1	0	k_2	k_2k_3	$k_2k_3k_4$
0	0	1	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	0

c)

x	k_1	bk_1	0	k_2	k_2k_3	$k_2k_3k_4$
0	0	—	E_1E_4	E_1E_4	E_1E_4	E_1E_4
1	E_1	E_1	E_1	E_2	E_3	—

X

d)

Rys. 183. Opracowanie układu z przykładu 4 z zastosowaniem łączników stabilizowanych a) siatka przejść, b) siatka stanów przekaźnika *X*, c) siatka wyjść, d) schemat obwodowy

7. Synteza układów sterowania w funkcji drogi i czasu

Syntezę układów sterowania, w skład których wchodzą przekaźniki czasowe, omówiono w poprzednim rozdziale. W przypadku większej liczby sygnałów wejściowych operowanie uproszczonymi tabelami i siatkami nie wprowadza żadnych zmian do zasady traktowania przekaźników czasowych jako elementów obwodów wyjściowych, ich zestyków natomiast jako elementów obwodów wejściowych.

Z uwagi na różnice w technice projektowania klasyczną metodą *Huffmana*, a metodą wykorzystującą uproszczone siatki przejść i stanów, rozpatrzymy poniżej przykład syntezy układu z przekaźnikiem czasowym.

Przykład 5. Zaprojektować układ sterowania doskokiem i odskokiem wrzeciennika frezarki, spełniający takie same czynności, co układ omówiony w rozdziale dziewiątym (rys. 160, 161). W tym układzie jednak doskok wrzeciennika zostaje uruchomiony krótkotrwałym sygnałem doskoku d_1 (pochodzącym np. od łącznika drogowego K_3 — rys. 102), odskok zaś innym krótkotrwałym sygnałem d_2.

W tabeli 8 przedstawiono program sterowania projektowanego układu. W tabeli tej sygnały wejściowe, oznaczono takimi samymi symbolami jak w tabeli na rys. 160a, z tą jedynie różnicą, że zamiast jednego sygnału *d* występują obecnie dwa różne sygnały d_1 i d_2.

Mimo, że przejściu z taktu ustalonego (5) do taktu ustalonego (6) towarzyszy zmiana wartości trzech sygnałów wejściowych (d_1, *t*, d_2), w tabeli wzięto pod uwagę tylko jedną sekwencję taktów pośrednich. Bowiem w takcie (5) zostaje jednocześnie wyłączony przekaźnik czasowy *T* i załączony przekaźnik posuwu Q_0. Powrót zestyków przekaźnika czasowego *T* do położenia spoczynkowego nastąpi napewno wcześniej, niż zwolnienie nacisku na łącznik drogowy, przekazujący sygnał d_1. To ostanie wymaga bowiem ruszenia posuwu i przebycia przez stół

Tabela 8

Takt	Stan układu	Sygnały wejściowe	Sygnały wyjściowe
1	stół znajduje się w ruchu	0	Q_0
2	pojawienie się sygnału doskoku, zatrzymanie posuwu, luzowanie wrzeciennika	d_1	L
3	wrzeciennik zluzowany, załączenie doskoku i załączenie przekaźnika czasowego	$d_1 k_0$	LAT
4	przestawienie zestyków przekaźnika czasowego, załączenie zacisku wrzeciennika	$d_1 k_0 t$	AT
5	wrzeciennik zaciśnięty, posuw stołu wznowiony	$d_1 t$	AQ_0
5a	powrót zestyków przekaźnika czasowego do położenia spoczynkowego	d_1	AQ_0
5b	koniec sygnału doskoku	0	AQ_0
6	pojawienie się sygnału odskoku, zatrzymanie posuwu, luzowania wrzeciennika	d_2	LA
7	wrzeciennik zluzowany, załączenie odskoku i załączenie przekaźnika czasowego	$d_2 k_0$	LT
8	przestawienie zestyków przekaźnika czasowego, załączenie zacisku wrzeciennika	$d_2 k_0 t$	T
9	wrzeciennik zaciśnięty, posuw stołu wznowiony	$d_2 t$	Q_0
9a	powrót zestyków przekaźnika czasowego do położenia spoczynkowego	d_2	Q_0
1	koniec sygnału odskoku	0	Q_0

a)

(1) 0	(2) d_1	(3) d_1k_0	(4) d_1k_0t	(5) d_1t	(6) d_2	(7) d_2k_0	(8) d_2k_0t	(9) d_2t	
(1)	2								Q_0
	(2)	3							L
		(3)	4						LAT
			(4)	5					AT
(5b)	(5a)			(5)	6				AQ_0
					(6)	7			LA
						(7)	8		LT
							(8)	9	T
1					(9a)			(9)	Q_0

b)

	0	d_2	d_2t	d_2k_0t	d_2k_0	d_1k_0	d_1k_0t	d_1t	d_1
0	(1)	(9a)	(9)	(8)		(3)	4		(2)
1	(5b)	(6)		8	(7)		(4)	(5)	(5a)

c)

x	0	d_2	d_2t	d_2k_0t	d_2k_0	d_1k_0	d_1k_0t	d_1t	d_1
0	0	0	0	0	—	0	1	—	0
1	1	1	—	0	1	—	1	1	1

X

d)

0	d_2	d_2t	d_2k_0t	d_2k_0	d_1k_0	d_1k_0t	d_1t	d_1
Q_0	Q_0	Q_0	T	—	LAT	-AT	—	L
AQ_0	LA	—	-T	LT	—	AT	AQ_0	AQ_0

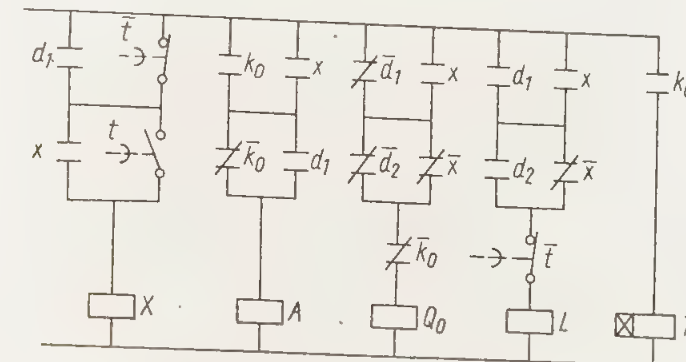
AQ_0LT

Rys. 184. Tabele programu oraz siatki stanów i wyjść do przykładu 5: a) uproszczona tabela programu, b) zredukowana tabela programu, c) siatka stanów przekaźnika X, d) siatka wyjść

przynajmniej parumilimetrowego odcinka drogi. Podobne rozumowanie spowodowało, że przy przejściu z taktu ustalonego (9) do taktu ustalonego (1) wzięto pod uwagę również tylko jedną sekwencję taktów pośrednich.

Na rysunku 184a podano uproszczoną tabelę programu, sporządzoną na podstawie tabeli opisowej.

Z wykresu redukcyjnego (nie podanego na rysunku) wynika, że dziewięć wierszy tabeli programu można zredukować do dwóch, przy czym istnieje szereg wariantów takiej redukcji. Na rys. 184b podano jeden z tych wariantów. W zredukowanej tabeli programu zastosowano odmienną kolejność kolumn, niż w tabeli na rys. 184a. Zmiana ta została wprowadzona celem takiego uporządkowania kolumn, które by w miarę możliwości zapewniło sąsiedztwo stanów wejść w kolumnach leżących obok siebie.



Rys. 185. Schemat układu zaprojektowany na podstawie siatki z rys. 184

Na rysunku 184c podano siatkę stanów wzbudzenia przekaźnika pośredniczącego X, a na rys. 184d siatkę wyjść. Siatki te pozwalają ustalić następujące wyrażenie strukturalne

$$X = (d_1 + \bar{t})(t + x); \quad A = (k_0 + x)(\bar{k}_0 + d_1);$$

$$Q_0 = (\bar{d}_1 + x)(\bar{d}_2 + \bar{x})\bar{k}_0; \quad L = (d_1 + x)(d_2 + \bar{x})\bar{t}; \quad T = k_0$$

Schemat zaprojektowanego układu podano na rys. 185.

Opracowanie pełnego schematu obwodowego układu sterowania obrabiarki

1. Organizacja pracy

W poprzednim rozdziale zwrócono uwagę na sposób projektowania złożonego układu sterowania obrabiarki przez rozłożenie go na podzespoły, dotyczące sterowania odrębnymi napędami. Przy takim sposobie projektowania całość pracy zostaje podzielona na następujące etapy:

a) Szczegółowe zapoznanie się z opracowanymi przez konstruktora obrabiarkami wstępnymi założeniami do projektu układu sterowania.

b) Podzielenie układu na podzespoły, odnoszące się do poszczególnych napędów; ustalenie ich charakteru (napęd główny, czy pomocniczy) i zadań oraz ustalenie jakie informacje (sygnały) będą podczas pracy obrabiarki przekazywane między odpowiednimi podzespołami układu sterowania. Wyniki pracy etapu pożądane jest ująć w schemacie blokowym, który stanowi przejrzystą notatkę. W trakcie tego etapu projektowania układu, albo też po jego zakończeniu projektant układu sterowania zgłasza zwykle konstruktorowi obrabiarki krytyczne uwagi i ewentulanie propozycje wprowadzenia do założeń zmian, które mogłyby dodatnio wpłynąć na niezawodność, cenę i inne parametry układu.

c) Opracowania podzespołów projektowanego układu sterowania. W tym etapie podzespoły są traktowane jako odrębne części całego układu podobnie, jak to miało miejsce przy opracowywaniu przykładowych układów w rozdziałach siódmym, dziewiątym i dziesiątym.

d) Uzupełnienie zaprojektowanych podzespołów obwodami sterowania ustawczego i ręcznego oraz obwodami realizującymi przekazywanie informacji (sygnałów), ustalonych w etapie b opracowania. Etap d może być również opracowywany naprzemian z etapem c: po uzyskaniu wstępnej wersji schematu obwodowego danego podzespołów w etapie trzecim przeprowadza się jego sprawdzenie i uzupełnienie, przewidziane w etapie d, do projektowania następnego podzespołu. Jednakże nawet wtedy zostanie cały szereg drobniejszych problemów, które będzie można uwzględnić dopiero po zakończeniu wstępnego opracowywania wszystkich podzespołów.

e) Opracowanie obwodowego schematu całości układu, obejmującego podzespoły zaprojektowane w poprzednich etapach.

Z tych pięciu etapów opracowywania cztery obejmują projektowanie układu, gdyż etap pierwszy nie jest jeszcze projektowaniem w ścisłym tego słowa znaczeniu, lecz jedynie zbieraniem informacji. Synteza obwodów przy wykorzystaniu omówionych w tej książce metod, rozwiniętych z algebry obwodów prowadzona będzie w jednym tylko etapie, c. Pozostałe etapy projektowania mają charakter projektowania intuicyjnego, a końcowy wynik pracy zależy nie tylko od stopnia opanowania przez projektanta matematycznych metod syntezy obwodów, lecz również w znacznej mierze — od jego umiejętności projektowania intuicyjnego.

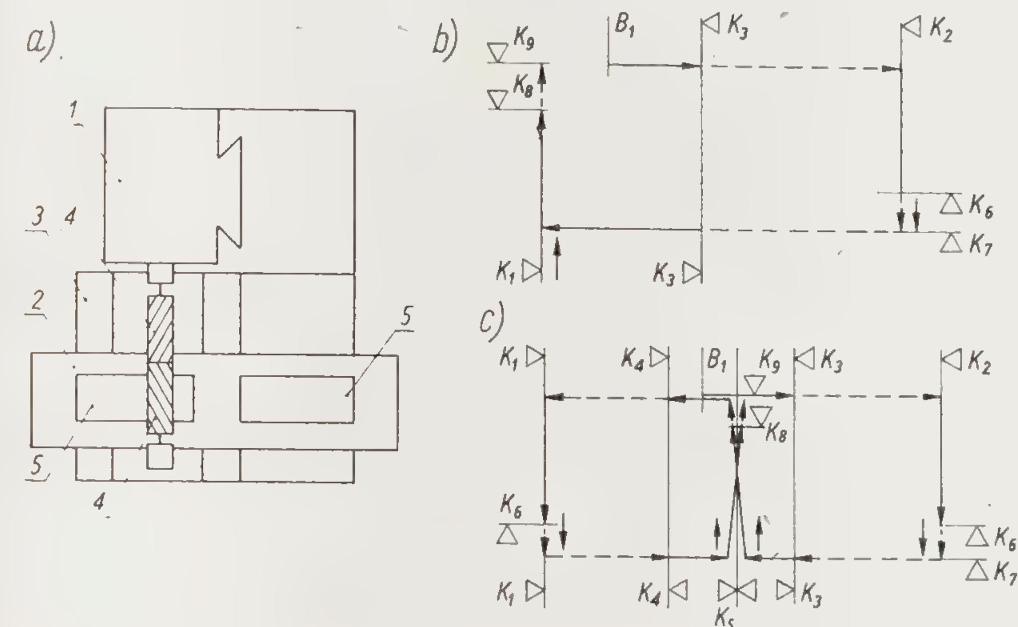
Przypominamy, że ta ostania jest umiejętnością przeprowadzania logicznej analizy i syntezy rozpatrywanych problemów bez pomocy wzorów i formuł algebry obwodów oraz bez pomocy opracowanych na jej podstawie metod.

2. Przykład opracowania projektu układu sterowania obrabiarki

Jako przykład projektowania prowadzonego zgodnie z omówioną organizacją pracy prześledzimy przebieg projektowania układu sterowania poziomej frezarki bezkonsolowej, którego fragmenty były już rozpatrywane w poprzednich rozdziałach (rys. 102÷104, 160, 161, 170÷176). Aby przykład można było omówić w ramach jednego, niezbyt obszernego rozdziału, pierwsze dwa etapy projektowania zostaną przedstawione w postaci bardzo skróconej, przy czym zostanie pominięty opis opracowania schematu blokowego, a gotowy już schemat (rys. 187), opracowany na podstawie założeń i ich analizy, zostanie tu wykorzystany przy omawianiu tych założeń i wyjaśnianiu przygotowań do etapu c (projektowanie podzespołów).

2.1. Zapoznanie się z założeniami i podział układu na podzespoły,

Poprzednio opracowane fragmenty układu sterowania dotyczyły frezarki pracującej w sześciu cyklach automatycznych (trzech prawych i trzech lewych) natomiast frezarka, dla której będziemy obecnie projektowali układ sterowania, jest przeznaczona do pracy w pięciu różnych cyklach automatycznych prawych i analogicznych pięciu lewych. Stół frezarki (rys. 186a) wykonuje posuwy wzdłuż-



Rys. 186. Założenia do pracy frezarki w pięciu cyklach: a) schemat frezarki; *1* — wrzeciennik, *2* — stół, *3* — sanie, *4* — frezy, *5* — przedmioty obrabiane; b) diagram pracy w cyklu nr 4; c) diagram pracy w cyklu nr 5

ne na saniach, które z kolei mogą przesuwać się prostopadle do kierunku posuwu stołu. Ruchy sań będą wykorzystywane jedynie jako ruchy przestawcze, pozwalające na ustawienie sań wraz ze stołem i obrabianym przedmiotem w dwóch

położeniach: przednim — bliższym korpusu frezarki i tylnym — bliższym obsługującego.

W pozycji wyjściowej przed rozpoczęciem cyklu automatycznego sanie frezarki znajdują się w położeniu przednim, naciskając na łącznik drogowy K_9 (rys. 186b). W tylnym położeniu sań jest naciśnięty łącznik K_7.

W cyklach nr 1, 2 i 3 sanie znajdują się przez cały czas w położeniu przednim. Cykl nr 1 jest przewidziany do pojedynczej obróbki przedmiotu (zgrubnej albo wykańczającej) cykl nr 2 również do obróbki pojedynczej z tym jednak, że w tym cyklu zakłada się na stole dwa uchwyty. Podczas gdy odbywa się frezowanie przedmiotu zamocowanego w jednym z uchwytów, obsługujący wyjmuje z drugiego uchwytu przedmiot już obrobiony w poprzednim cyklu i zakłada nowy przedmiot. Cykl nr 3 jest przewidziany do podwójnej obróbki tego samego przedmiotu tym samym frezem: po zakończeniu obróbki zgrubnej w pierwszej połowie cyklu zostaje załączony doskok wrzeciennika i rozpoczyna się obróbka wykańczająca.

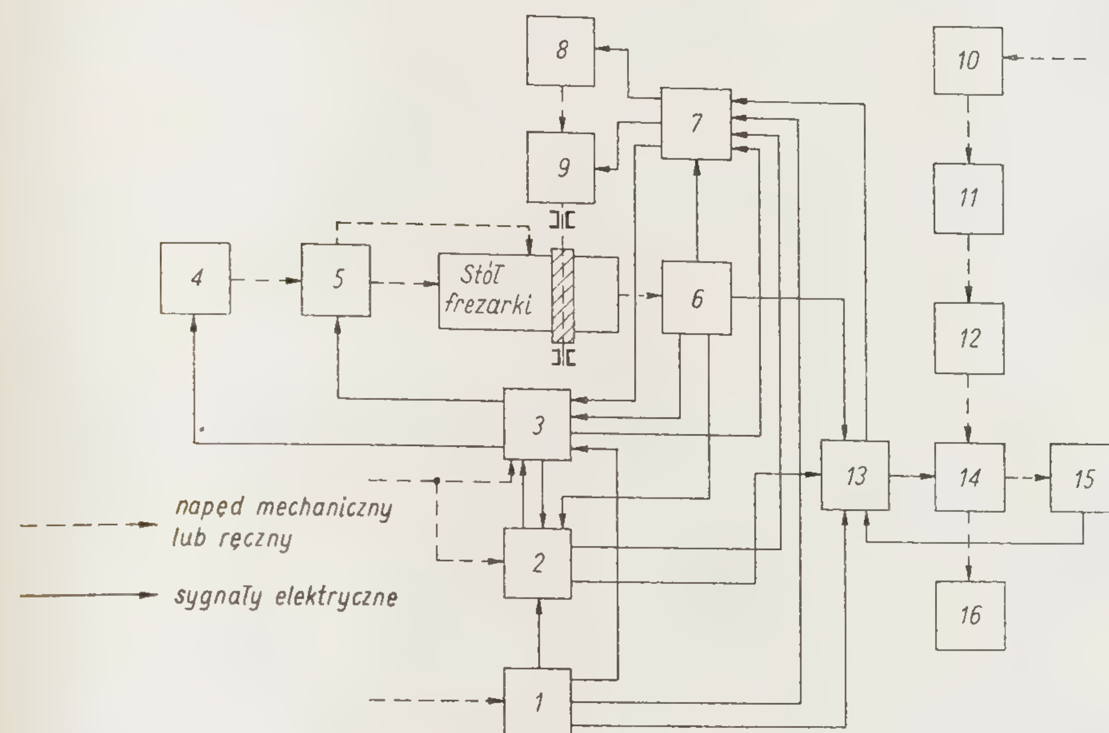
Cykle nr 4 i 5 przeznaczone są do obróbki podwójnej, różniącej się od przeprowadzanej w cyklu nr 3 tym, że po zakończeniu obróbki zgrubnej sanie zostają przedstawione w położenie tylne, w którym inny frez przeprowadza obróbkę wykańczającą (rys. 186a). Cykl nr 5 jest skojarzeniem cyklu nr 2 z cyklem nr 4. Na stole znajdują się dwa uchwyty, podczas gdy odbywa się frezowanie przedmiotu w jednym uchwycie, obsługujący zmienia w drugim uchwycie przedmiot całkowicie obrobiony na przedmiot przeznaczony do obróbki.

Na rysunku 186b przedstawiono diagram pracy w cyklu nr 4 prawym. Po naciśnięciu przycisku B_1 (rozpoczęcie cyklu prawego) zostaje uruchomiony napęd posuwu stołu w prawo. Stół posuwa się ruchem szybkim do punktu, w którym zostaje naciśnięty łącznik drogowy K_3, powodujący przełączenie posuwu szybkiego na posuw roboczy. Po zakończeniu obróbki zgrubnej i dojściu do pierwszego położenia krańcowego (do łącznika K_2) zostaje wyłączony posuw wzdłużny stołu i załączony szybki posuw do tyłu sań, przełączany przez łącznik drogowy K_6 na posuw zwolniony. Łącznik K_6 zostaje przestawiony w położenie wymuszone tuż przed dojściem sań do położenia tylnego (zwolnienie posuwu przed jego zatrzymaniem), wyznaczonego przez łącznik K_7. Łącznik K_6 pozostaje w wymuszonym położeniu przez cały czas obróbki wykańczającej, kiedy sanie znajdują się w położeniu tylnym. Łącznik K_7 powoduje wyłączenie posuwu do tyłu i załączenie doskoku wrzeciennika (zaznaczone na diagramie krótką strzałką, skierowaną w dół). Po zakończeniu doskoku zostaje uruchomiony posuw roboczy w lewo. Łącznik K_3 załącza szybki posuw w lewo. W lewym skrajnym położeniu stołu naciśnięcie łącznika K_1 powoduje wyłączenie posuwu stołu oraz wyłączenie doskoku wrzeciennika. Po zakończeniu odskoku rozpoczyna się szybki posuw sań do przodu, przełączany przez łącznik K_8 na posuw zwolniony. Dojście do łącznika K_9 powoduje zakończenie cyklu pracy. Łącznik K_8 pozostaje w położeniu wymuszonym przez cały czas, gdy sanie znajdują się w położeniu przednim.

Cykl nr 4 lewy przebiega analogicznie do opisanego cyklu prawego, jedynie ze zmianą kierunku posuwów na przeciwne (w przednim położeniu sań posuw stołu w lewo, w tylnym — w prawo; w lewym skrajnym położeniu stołu posuw sań do tyłu, w prawym skrajnym — do przodu). W cyklu nr 4 lewym zamiast łącznika K_3 występuje K_4.

Cykl nr 5, którego diagram przedstawiono na rysunku 186c przebiega początkowo w sposób identyczny jak cykl nr 4. Po minięciu jednak łącznika drogowego K_3 w tylnym położeniu sań i uruchomieniu szybkiego posuwu stołu, stół nie dochodzi do swego lewego, krańcowego położenia, ponieważ posuw stołu zostaje zatrzymany przez łącznik K_5. W tym punkcie zostaje uruchomiony posuw sań do przodu, przebiegający tak samo, jak posuw sań do przodu w cyklu nr 4. Po dojściu sań do łącznika krańcowego K_9 zostaje wyłączony ich posuw do przodu i załączony posuw stołu w lewo. Od tego momentu począwszy dalszy przebieg sterowania jest lustrzanym odbiciem omówionej pierwszej połowy cyklu. W cyklu nr 5 doskok i odskok wrzeciennika powtarza się dwa razy. Doskok zostaje załączony za każdym razem, gdy sanie dojdą do łącznika K_7, wyłączony zaś, gdy w tylnym położeniu sań stół dojdzie do łącznika K_5.

Cały układ sterowania frezarki można rozłożyć na trzy podzespoły: a) podzespół sterowania napędem posuwów stołu i sań, obejmujący człony funkcjonalne oznaczone na schemacie blokowym (rys. 187) numerami 1 do 6; b) podzespół sterowania napędem wrzeciona (człony 7 do 9); c) podzespół sterowania doskokiem i odskokiem wrzeciennika (człony 10 do 16).



Rys. 187. Schemat blokowy układu sterowania frezarki z rys. 186

Człon nr 1 obejmuje cztery przełączniki selekcyjne: przełącznik rodzaju pracy frezarki *1S*, przełącznik prędkości dwubiegowego silnika napędów posuwów *2S*, przełącznik kierunku obrotów freza *3S*, wreszcie przełącznik ręcznej zmiany parametrów obróbki podczas pracy w cyklu automatycznym *4S*.

Przełącznik *1S* (w przykładach rozpatrywanych poprzednio oznaczony przez *S*) ma pięć położeń odpowiadających pięciu cyklom automatycznym.

Przełącznik *2S* można ustawić w jednym z trzech położeń. W pierwszym położeniu jest on ustawiony, gdy silnik napędu posuwów przez cały cykl ma pracować tylko z mniejszą prędkością, w drugim położeniu — gdy silnik pracuje tylko z większą prędkością, trzecie położenie przełącznika *2S* odpowiada programowi obróbki, w którym silnik pracuje z większą prędkością podczas obróbki zgrubnej, z mniejszą zaś — podczas obróbki wykańczającej.

Przełącznik *3S* ma za zadanie dostosować kierunek obrotu freza do kierunku skrętu jego zwoi. Jeżeli przy pracy w cyklach nr 4 i 5 stosuje się jeden frez prawoskrętny, a drugi lewoskrętny, to zadaniem przełącznika *3S* jest wprowadzenie w odpowiednim momencie do układu sterowania polecenia zmiany kierunku obrotów silnika napędu freza. W pierwszym położeniu przełącznika ($3S_1$) frez

obraca się w prawo, a w drugim ($3S_2$)— w lewo, w trzecim ($3S_3$) — najpierw w prawo, następnie w lewo, wreszcie w czwartym ($3S_4$) — najpierw w lewo, a następnie w prawo.

Przełącznik *4S* jest przeznaczony zasadniczo do wybierania żądanej prędkości posuwu przy sterowaniu ręcznym i przy ustawianiu obrabiarki. Pierwsze położenie ($4S_1$) odpowiada wolniejszemu z dwóch posuwów roboczych (sprzęgło V_5 wyłączone, silnik posuwów pracuje z mniejszą prędkością): drugie położenie ($4S_2$) — szybszemu posuwowi roboczemu (sprzęgło V_5 wyłączone, silnik pracuje z większą prędkością): trzecie położenie ($4S_3$) — wolniejszemu z dwóch posuwów szybkich (sprzęgło V_5 załączone, silnik pracuje z mniejszą prędkością); czwarte położenie ($4S_4$) — szybszemu z dwóch posuwów szybkich (sprzęgło V_5 załączone, silnik pracuje z większą prędkością). W cyklach automatycznych przewiduje się możliwość wykorzystania przełącznika *4S* w celu zmniejszenia przez obsługującego frezarkę prędkości posuwu, gdyby stwierdził on konieczność takiej korekty.

Omówiony poprzednio człon nr 1 został zaliczony do podzespołu sterowania posuwami. W rzeczywistości ustawienie przełączników selekcyjnych wpływa również na przebieg sterowania pozostałych dwóch podzespołów, napędu wrzeciona (przełącznik *3S*) oraz napędu doskoku wrzeciennika (przełącznik *1S*) moment doskoku i odskoku zależy bowiem od wybranego cyklu pracy. Dlatego na schemacie zaznaczono przekazywanie sygnałów z członu nr 1 do wszystkich trzech pozostałych podzespołów układu sterowania.

Człon nr 2 obejmuje obwody przełączania na pracę w cyklu automatycznym i przy sterowaniu ręcznym wraz z ustawianiem frezarki oraz obwody przekaźników pracy w cyklu automatycznym, zaprojektowane w poprzednim rozdziale jako obwody przekaźników A_1 i A_2 (rys. 175). Na początku cyklu obsługujący przekazuje informacje do tego członu, na końcu zaś człon nr 3 przekazuje do członu nr 2 sygnał zakończenia cyklu pracy. Człon nr 2 przekazuje z kolei ten sygnał do obwodów sterowania wszystkich trzech podzespołów.

Człon nr 3 obejmuje przekaźnikowe obwody sterowania posuwami stołu i sań. Otrzymuje on sygnały wejściowe od łączników drogowych (człon nr 6), od przełączników selekcyjnych i od obwodów sterowania napędem wrzeciona (sygnał zatrzymania posuwu roboczego w przypadku wyłączenia napędu wrzeciona). Człon ten wysyła sygnały do silnika *1M* napędu posuwów (człon nr 4) i do sprzęgieł elektromagnetycznych (człon nr 5).

Człon nr 5 obejmuje pięć sprzęgieł elektromagnetycznych oraz dwa hamulce elektromagnetyczne: sprzęgło V_1 załączające posuw stołu w prawo, sprzęgło V_2 załączające posuw stołu w lewo, V_3 — załączające posuw sań do tyłu, V_4 — posuw sań do przodu, V_5 — szybki posuw stołu lub sań, hamulec H_1 posuwu stołu i H_2 — hamulec posuwu sań. Prędkość posuwu zależy od tego, czy silnik posuwu pracuje na mniejszych, czy na większych obrotach, oraz czy sprzęgło V_5 jest załączone (posuw szybki) czy wyłączone (posuw roboczy). Szybszy z dwóch szybkich posuwów będzie wykorzystywany wyłącznie przy sterowaniu ręcznym.

Wolniejszy posuw roboczy jest stosowany przy frezowaniu wykańczającym oraz w końcowym okresie przestawiania sań, w celu zwiększenia dokładności ich ustawienia. Szybszy posuw roboczy jest stosowany wyłącznie przy frezowaniu zgrubnym. Jeżeli posuw stołu jest wyłączony, to zostaje samoczynnie załączony hamulec H_1, jeżeli jest wyłączony posuw sań — to hamulec H_2.

Człon nr 6 obejmuje omówione poprzednio łączniki drogowe od K_1 do K_9. Łącznik K_0, informujący o zluzowaniu zacisku wrzeciennika na jego prowadnicach, wchodzi w skład podzespołu napędu doskoku wrzeciennika.

Człon nr 7 zawiera obwody sterowania napędem wrzeciona; człon nr 8 — silnik *2M* napędu wrzeciona, a człon nr 9 obejmuje dwa sprzęgła elektromagnetyczne: V_6 załączające szybkie obroty wrzeciona, stosowane przy frezowaniu wykańczającym i V_7 — załączające wolne obroty wrzeciona, stosowane przy obróbce zgrubnej. Silnik napędu wrzeciona może być przez układ sterowania załączany na obroty w prawo, albo w lewo, w zależności od tego, czy obróbkę przeprowadza się frezem prawoskrętnym, czy też lewoskrętnym. Gdy zasilanie silnika napędu wrzeciona jest przerwane, zostają załączone jednocześnie oba sprzęgła wrzeciona, w wyniku czego uzyskuje się energiczne hamowania obrotów wrzeciona.

Pozostałymi członami układu są: *10* zamykany i otwierany ręcznie obwód sterowania silnika *3M* napędu pompy; *11* silnik *3M*; *12* pompa hydrauliczna; *13* obwód sterowania doskokiem i odskokiem wrzeciennika; *14* grupa elektrozaworów; *15* napęd luzowania wrzeciennika; *16* napęd doskoku wrzeciennika.

2.2. Projektowanie układów sterowania podzespołów dla pracy w cyklach automatycznych

W tym etapie przeprowadza się opracowanie pierwszej wersji układu sterowania każdego podzespołu, pozostawiając ewentualne uzupełnienia i korekty do następnego etapu projektowania układu. Przyjmiemy opracowane w poprzednich rozdziałach obwody sterowania doskokiem i odskokiem wrzeciennika oraz obwody przekaźników pracy w cyklu automatycznym jako odpowiadające wymaganiom tego etapu projektowania.

Projektowanie pozostałych obwodów rozpoczniemy od obwodu sterowania silnika napędu posuwu stołu i sań frezarki. Przyjmijmy następujące oznaczenia styczników załączających zasilanie silnika posuwów *1M*: P_1 — praca na mniejszych obrotach, P_2 — na większych obrotach. Przekaźniki załączające sprzęgła elektromagnetyczne będziemy oznaczali literą Q ze wskaźnikiem liczbowym, odpowiadającym wskaźnikowi załączanego sprzęgła (np. przekaźnik Q_2 służy do załączania i wyłączania sprzęgła V_2 — posuw w lewo). Sygnał załączenia cyklu automatycznego oznaczymy przez a czyli $a = a_1 + a_2$.

W cyklach automatycznych — a tylko dla takich opracowujemy pierwszą wersję układu — silnik napędu posuwu pracuje przez cały czas trwania cyklu (gdy $a = 1$). Z warunku tego wynika, że: a) obwody wzbudzenia styczników P_1 i P_2 będą obwodami jednotaktowymi, b) we wspólnej gałęzi tych obwodów znajdzie się człon $a = a_1 + a_2$, c) gdy obwód jednego stycznika zostanie przerwany, obwód drugiego zostaje zamknięty, a więc wystarczy ustalić wyrażenie strukturalne jednego z tych obwodów (nie obejmujący wspólnej gałęzi a), dla drugiego zaś obwodu przyjąć negację wyrażenia strukturalnego obwodu pierwszego.

Rozpocznijmy od ustalenia wyrażenia strukturalnego obwodu wzbudzenia stycznika P_1 (wolniejsze obroty). Z założeń wynika, że stycznik ten powinien być załączony w każdym z następujących przypadków: a) gdy jest załączony szybki posuw, b) podczas obróbki wykańczającej, c) na ostatnim odcinku przestawiania sań (powolny posuw ustawczy).

Szybki posuw jest załączany przez sprzęgło V_5, to zaś z kolei — przez przekaźnik Q_5 (na schemacie na rys. 104 odpowiada mu przekaźnik R).

Zmiana parametrów skrawania przy przejściu z obróbki zgrubnej na wykańczającą dotyczy nie tylko prędkości obrotowej silnika posuwów, lecz również prędkości obrotowej wrzeciona, a więc stanu wzbudzenia sprzęgieł V_6 i V_7. Sterowanie zmianą parametrów skrawania można wprowadzić do obwodów styczników P_1 i P_2, zestykami zaś tych styczników sterować obwody wzbudzenia przekaźników Q_6 i Q_7. Można też postąpić odwrotnie. Ten ostatni wariant

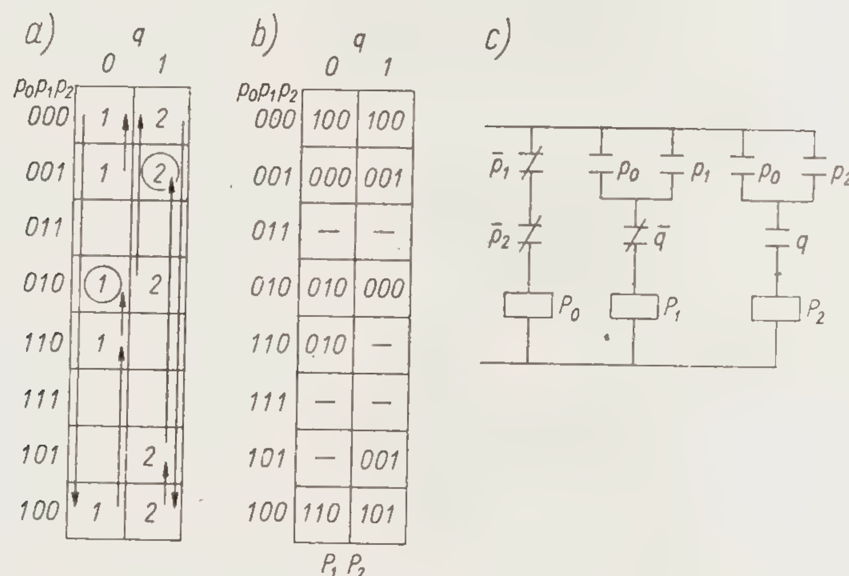
jest technicznie poprawniejszy, ponieważ w przekaźnikach Q_6 i Q_7 jest zazwyczaj więcej zestyków do dyspozycji, niż w stycznikach P. Wybieramy zatem wariant drugi, stwierdzając jednocześnie, że obwód stycznika P_1 powinien być zamknięty, gdy jest załączony przekaźnik Q_6 (szybkie obroty wrzeciona — obróbka wykańczająca).

Ponieważ przesuw sań rozpoczyna się posuwem szybkim, więc przez cały czas tego posuwu powinien być załączony stycznik P_1. Sygnałem załączenia stycznika P_1 podczas przestawiania sań może być albo k_1+k_2 (stół w skrajnym położeniu), albo też q_3+q_4 (załączony jeden z posuwów poprzecznych). Wybierzmy narazie wariant k_1+k_2, pamiętając, że taki zestaw zestyków można zamienić zestawem zestyków q_3 i q_4, gdyby okazało się to korzystniejsze ze względu na wykorzystanie zestyków przekaźników układu.

Z powyższych rozważań wynika, że $P_1 = a(q_5+q_6+k_1+k_2)$, a więc $P_2 = a\bar{q}_5\bar{q}_6\bar{k}_1\bar{k}_2$

Zgodnie z bardzo dobrym zwyczajem wprowadzania blokad negatywnych do tych obwodów, które nie mogą być zamknięte w tym samym czasie, do wyrażenia strukturalnego P_1 dopiszemy jeszcze czynnik $\bar{p}_2$, do wyrażenia zaś P_2 — czynnik $\bar{p}_1$. Z uwagi na wymagania norm, nakazujących tak opracowywać układ, aby w przypadku wyłączenia obrotów freza napęd posuwu był samoczynnie wyłączany, do wyrażenia na P_2 należy zamiast $\bar{q}_6$ wstawić q_7. Zmiana taka spowoduje wyłączenie silnika *1M* w przypadku, gdy żadne ze sprzęgieł napędu freza nie będzie załączone.

Wprowadzenie wzajemnej blokady negatywnej do obwodów wzbudzenia styczników P_1 i P_2 nie zabezpiecza jeszcze obwodów zasilania silnika *1M* przed powstawaniem zwarć łukowych podczas zmiany prędkości obrotowej tego silnika. Zabezpieczenie takie można uzyskać stosując np. przy przełączaniu zasilania obwodów styczników P_1 i P_2 przerwę w obu obwodach, trwającą przez okres dwóch taktów przejściowych. Wymaga to jednak zastosowania dodatkowego przekaźnika pośredniczącego, który oznaczymy przez P_0.



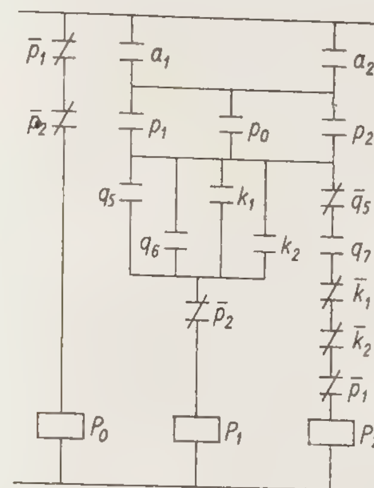
Rys. 188. Zabezpieczenie przed zwarciami łukowymi przy przełączaniu obwodów zasilania silnika: a) siatka przejść b) siatka stanów; c) schemat obwodów

Strukturę obwodów wzbudzenia styczników P_1 i P_2 oraz przekaźnika pośredniczącego P_0 uzyskamy z siatki stanów (rys. 188b), opracowaną na podstawie siatki przejść (rys. 188a). Dla uproszczenia ograniczono się do przypadku, gdy wyłączenie jednego stycznika i załączenie drugiego jest powodowane zmianą wartości tylko jednego sygnału wejściowego q. Gdy $q = 0$, jest załączony stycznik P_1, gdy $q = 1$ — stycznik P_2. Przejście z taktu ① do ② i odwrotnie, prowadzące przez dwa takty przejściowe z wyłączonym wzbudzeniem obu styczników zaznaczono w siatce przejść strzałkami. Z siatki stanów odczytujemy: $P_0 = \bar{p}_1\bar{p}_2$ $P_1 = (p_0+p_1)\bar{q}$; $P_2 = (p_0+p_2)q$. Schemat tych obwodów przedstawiono na rys. 188c.

Zastępując $\bar{q}$ i q przez ustalone wyżej wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia styczników P_1 i P_2 otrzymuje się

$$P_1 = a(p_0+p_1)(q_5+q_6+k_1+k_2)\bar{p}_2$$
$$P_2 = a(p_0+p_2)\bar{q}_5q_7\bar{k}_1\bar{k}_2\bar{p}_1$$

Ponieważ obwody P_1 i P_2 nie mogą zostać jednocześnie zamknięte, podgrupy p_0+p_1 o p_0+p_2 można połączyć w jedną $p_0+p_1+p_2$. Po uwzględnieniu tych zmian otrzymujemy układ, którego schemat przedstawiono na rys. 189.



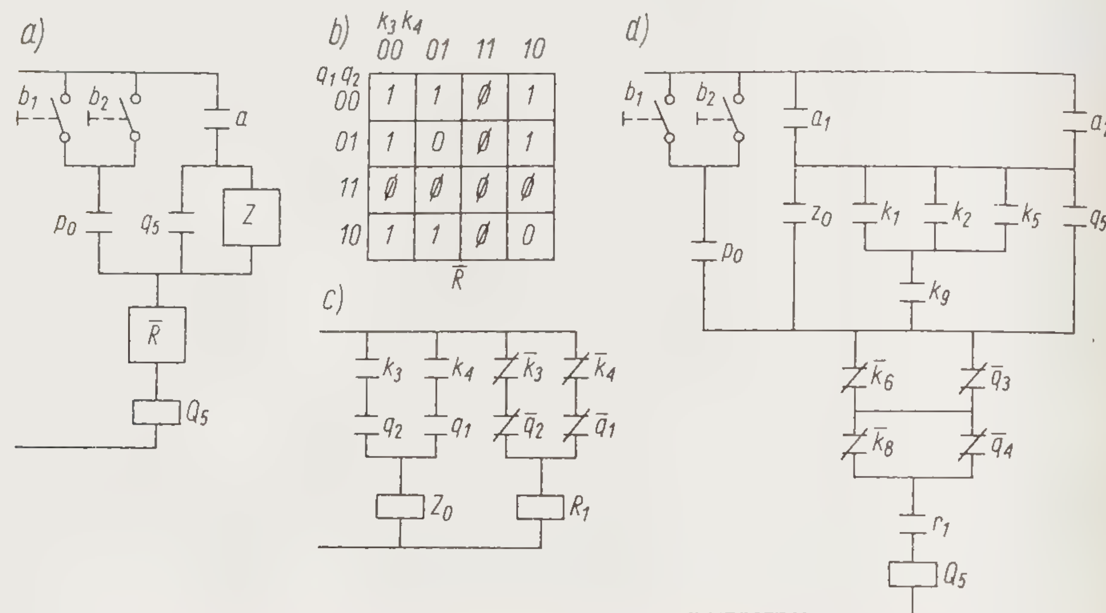
Rys. 189. Schemat obwodów sterowania silnikiem posuwów

Przejdziemy teraz do syntezy obwodu wzbudzenia przekaźnika Q_5 (szybki posuw). Przekaźnik ten powinien zostać załączony na początku każdego cyklu, najwłaściwiej więc będzie przyjąć jako sygnał załączenia przekaźnika Q_5 naciśnięcie jednego z dwóch przycisków startu (b_1+b_2). Nie można jednak dopuścić, by przypadkowe naciśnięcie przycisku B_1 lub B_2 mogło załączyć szybki posuw wtedy, gdy odbywa się frezowanie przedmiotu. Najlepiej będzie jeśli możliwość przekazania sygnału załączenia szybkiego posuwu przez przycisk zostanie ograniczona do krótkiego okresu przejściowego między naciśnięciem przycisku a załączeniem silnika napędu posuwu, gdy załączony jest przekaźnik P_0. W tym celu jako sygnał załączenia przekaźnika Q_5 na początku cyklu należy przyjąć $(b_1+b_2)p_0$.

Niezależnie od zaprogramowanego przerywania i zamykania obwodu wzbudzenia przekaźnika Q_5 podczas pracy obrabiarki w cyklu automatycznym obwód ten powinien zostać otwarty z chwilą zakończenia cyklu, a więc gdy $a_1+a_2 = 0$. Wynika stąd, że obwód wzbudzenia przekaźnika Q_5 będzie miał strukturę, przedstawioną schematycznie na rys. 190a. Prostokąt Z symbolizuje człon obwodu realizujący funkcję załączania przekaźnika Q_5, prostokąt zaś $\bar{R}$ — człon realizujący funkcję wyłączania ($Q_5 = 0$, gdy $R = 1$).

Przystępujemy do ustalania wyrażeń strukturalnych Z i R. Z diagramów pracy obrabiarki w różnych cyklach wynika, że naciśnięcie tego samego łącznika,

drogowego K_3 i K_4 w cyklach numer 4 i 5 powoduje albo wyłączenie szybkiego posuwu (w przednim położeniu sań), albo też jego załączenie (w tylnym położeniu sań). Gdyby jednak rozróżnić sygnały załączania i wyłączania szybkiego przesuwu zgodnie z podaną wyżej obserwacją, przyjmując dla wyłączenia sygnał $(k_3+k_4)k_9$, a dla załączenia przekaźnika Q_5 sygnał $(k_3+k_4)k_7$, to łącznik K_4 wyłączałby w cyklu nr 2 szybki posuw również przy ruchu stołu w prawo, łącznik zaś K_3 — przy posuwie w lewo. Można tego uniknąć, stosując łączniki drogowe wyposażone w dźwignie napędowe jednozwrotne, można jednak również uzyskać ten sam efekt, stosując do rozróżnienia znaczenia sygnałów, wysyłanych przez łączniki K_3 i K_4 kryterium zwrotu posuwu, zamiast kryterium położenia sań. Przy takim podejściu do zagadnienia sygnałem wyłączenia szybkiego posuwu będzie $k_3q_1+k_4q_2$, sygnałem zaś załączenia $k_3q_2+k_4q_1$.



Rys. 190. Kolejne etapy projektowania obwodu sterowania szybkimi posuwami: a) schemat koncepcyjny, b) siatka stanów członu wyłączającego; c) obwody wzbudzenia przekaźników pośredniczących: d) schemat obwodu przekaźnika

Nie są to jedyne sygnały załączenia i wyłączenia przekaźnika Q_5, oznaczymy je więc literami Z_0 i R_0, rezerwując w dalszym ciągu litery Z i R dla oznaczenia pełnych funkcji załączania i wyłączania tego przekaźnika. Tak więc:

$$R_0 = k_3q_1+k_4q_2; \qquad Z_0 = k_3q_2+k_4q_1; \qquad \overline{R}_0 = (\bar{k}_3+\bar{q}_1)(\bar{k}_4+\bar{q}_2)$$

Po odwzorowaniu wyrażenia $\overline{R}_0$ w siatce *Karnaugha* (rys. 190b) i wprowadzeniu stanów obojętnych we wszystkich polach kolumny k_3k_4 (ponieważ łączniki te nie są nigdy jednocześnie w położeniu wymuszonym) oraz wiersza q_1q_2 stwierdzimy, że wyrażenie strukturalne $\overline{R}_0$, wyznaczone przez podgrupy jedynkowe, ma postać $\overline{R}_0 = \bar{k}_3\bar{q}_2+\bar{k}_4\bar{q}_1$. Ponieważ w układzie sterowania doskokiem wrzeciennika będzie potrzebny sygnał $k_3q_1+k_4q_2 = R_0$, wprowadzimy przekaźnik pośredniczący, realizujący funkcję $\overline{R}_0$. Przekaźnik ten oznaczono przez R_1 (rys. 190c). Jeżeli łączniki K_3 i K_4 mają tylko po jednym zestyku przełączającym, to trzeba wprowadzić również przekaźnik Z_0, jak to zrobiono na rys. 190c i d. Jeżeli zaś każdy z tych łączników jest wyposażony w oddzielne zestyki zwierne i rozwierne, to wtedy przekaźnik Z_0 jest zbędny. Ten ostatni wariant (bez przekaźnika Z_0) został wykorzystany w schemacie całego układu sterowania frezarki (rys. 203a).

W cyklach automatycznych wyłączenie szybkiego posuwu występuje jeszcze w końcowej fazie przestawiania sań, gdy przy ruchu do tyłu zostanie naciśnięty łącznik drogowy K_6, przy ruchu zaś do przodu — łącznik K_8. Funkcja wyłączania szybkiego przesuwu sań ma wtedy postać $R_2 = k_6q_3+k_8q_4$, skąd $\overline{R_2} = (\bar{k}_6+\bar{q}_3)(\bar{k}_8+\bar{q}_4)$. A zatem pełna funkcja wyłączania $\overline{R} = \overline{R}_0\overline{R}_2 = (\bar{k}_3+\bar{q}_1)(\bar{k}_4+\bar{q}_2)(\bar{k}_6+\bar{q}_3)(\bar{k}_8+\bar{q}_4)$. Pierwsze dwie podgrupy zerowe w tym wyrażeniu można zastąpić symbolem zestyku zwiernego przekaźnika R_1, otrzymamy wtedy $\overline{R} = r_1(\bar{k}_6+\bar{q}_3)(\bar{k}_8+\bar{q}_4)$.

Z diagramów pracy obrabiarki wynika, że we wszystkich cyklach dojście stołu do lewego lub prawego położenia krańcowego powoduje załączenie posuwu szybkiego, chyba że to dojście jest jednocześnie zakończeniem cyklu pracy. Wprowadzając więc sygnał uruchomienia szybkiego posuwu przy każdym dojściu stołu do położenia krańcowego nie wprowadzimy do układu żadnych zakłóceń. Jeśli bowiem w tym punkcie kończy się cykl pracy, to posuw zostanie wogóle wyłączony i przekazany sygnał nie załączy szybkiego posuwu.

Sygnałem załączenia szybkiego posuwu nie może być jednak k_1+k_2, ponieważ uruchamiałby on również szybki posuw z chwilą, gdy w cyklu nr 4 lub 5 przesuwające się do tyłu sanie dojdą do łącznika K_7. Według diagramu pracy obrabiarki w tym miejscu powinien się rozpocząć posuw roboczy. Zatem przekazanie sygnału uruchomienia szybkiego posuwu w skrajnych położeniach stołu należy ograniczyć do przedniego położenia sań, uzupełniając podaną wyżej sumę do postaci $(k_1+k_2)k_9$.

Należy jeszcze uwzględnić ostatni przypadek zaprogramowanego załączania szybkiego posuwu, występującego w cyklu nr 5 gdy po zakończeniu obróbki wykańczającej w pierwszej połowie cyklu i po naciśnięciu przez stół łącznika K_5 sanie powracają do położenia przedniego, naciskając łącznik K_9. W tym przypadku sygnałem, uruchamiającym szybki posuw będzie $1s_5k_5k_9$. Można tu pominąć symbol zestyku przełącznika selekcyjnego *1S*, zamykanego w piątym położeniu tego przełącznika, ponieważ przy pracy w cyklach nr 1, 3 i 4 zderzaki atakujące łącznik k_5 zostają usunięte, w cyklu zaś nr 2 zarówno podczas posuwu w prawo, jak i w lewo — zderzak przestawia łącznik K_5 w położenie wymuszone na tym odcinku drogi, na którym i tak jest załączony szybki posuw.

Reasumując powyższe rozważania, dotyczące funkcji załączania przekaźnika Q_5, można napisać $Z = z_0+(k_1+k_2+k_5)k_9$. Ostatecznie więc wyrażenie strukturalne obwodu wzbudzenia przekaźnika Q_5 będzie miało postać

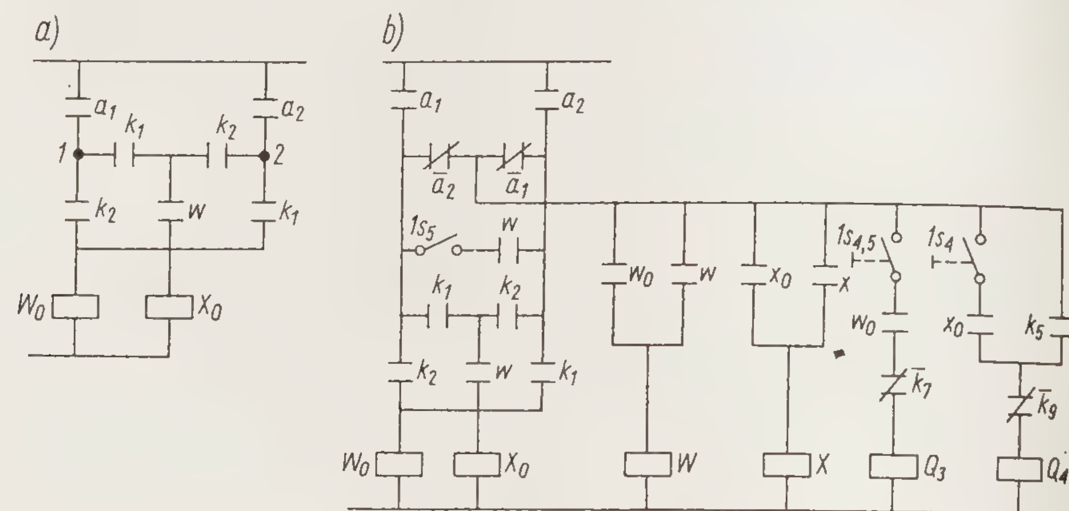
$$Q_5 = \{(b_1+b_2)p_0+(a_1+a_2)[z_0+(k_1+k_2+k_5)k_9+q_5](\bar{k}_6+\bar{q}_3)(\bar{k}_8+\bar{q}_4)\}r_1$$

Schemat obwodu wzbudzenia przekaźnika Q_5 podano na rys. 190d.

Ostatni element układu sterowania posuwami stanowią obwody sterowania przesuwami sań, złożone ze sprzęgieł V_3 i V_4 oraz z przekaźników Q_3 i Q_4.

W cyklu nr 4 posuw do tyłu (załączenie V_3 i Q_3) zostaje uruchomiony, gdy stół dochodzi do swego pierwszego położenia skrajnego, wyłączony zaś, gdy sanie dojdą do krańcowego położenia tylnego i nacisną na łącznik drogowy K_7. W rozdziale dziewiątym w przykładzie 4 został wprowadzony przekaźnik W pamięci dojścia stołu do pierwszego położenia skrajnego. Do załączania posuwu sań do tyłu nie można jednak wykorzystać zestyku tego przekaźnika, ponieważ od chwili załączenia pozostaje on w tym stanie ($W = 1$) do końca cyklu, po zakończeniu więc posuwu sań do przodu przekaźnik W załączałby z powrotem

posuw do tyłu. Trzeba zatem wprowadzić przekaźnik pośredniczący, informujący o tym, że stół znajduje się w pierwszym położeniu skrajnym, a więc przekaźnik załączony w pierwszym skrajnym położeniu. Obwód takiego przekaźnika, oznaczonego przez W_0 będzie obwodem jednotaktowym, podczas gdy obwód przekaźnika pamięci W jest z konieczności obwodem wielotaktowym. A zatem $W_0 = a_1k_2 + a_2k_1$. Wprowadzając przekaźnik W_0 można jednocześnie uprościć obwód wzbudzenia przekaźnika W do postaci $W = (a_1+a_2)(w_0+w)$. Podobnie wprowadzimy przekaźnik pośredniczący X_0, informujący o tym, że stół znajduje się w drugim skrajnym położeniu $X_0 = (a_1k_1+a_2k_2)w$. Analogicznie skorzystamy z przekaźnika X_0, by uprościć obwód wzbudzenia przekaźnika X do postaci $X = (a_1+a_2)(x_0+x)$. Na rys. 191a podano schematy obwodów wzbudzenia przekaźników W_0 i X_0.



Rys. 191. Schematy obwodów wzbudzenia; a) przekaźników informacji i pamięci o dojściu stołu do położeń krańcowych W_0, X_0, W i X; b) przekaźników sterowania posuwami sań Q_3, Q_4

Teraz można podać wyrażenia strukturalne obwodów wzbudzenia przekaźników Q_3 i Q_4 przeznaczonych do sterowania przesuwami sań w cyklu nr 4 $Q_3 = 1s_4w_0\bar{k}_7$, $Q_4 = 1s_4x_0\bar{k}_9$.

W cyklu nr 5 przestawienie stołu do tyłu odbywa się w obu skrajnych położeniach stołu, a więc dla tego cyklu $Q_3 = 1s_5(w_0+x_0)\bar{k}_7$, natomiast przestawienie stołu do przodu odbywa się w położeniu środkowym, w którym jest naciśnięty łącznik K_5, skąd $Q_4 = 1s_5k_5\bar{k}_9$. Łącząc wyrażenia strukturalne obwodów Q_3 i Q_4 dla obu cykli otrzymamy

$$Q_3 = (1s_{4,5}w_0+1s_5x_0)\bar{k}_7; \qquad Q_4 = (1s_4x_0+1s_5k_5)\bar{k}_9$$

Wyrażenie strukturalne obwodu wzbudzenia przekaźnika Q_3 można jeszcze uprościć, tak zmieniając obwód wzbudzenia przekaźnika W_0, aby w cyklu nr 5 informował on o dojściu stołu zarówno do pierwszego, jak i drugiego położenia skrajnego. W tym celu trzeba uzupełnić obwód W_0 (rys. 191a) tak, aby w cyklu nr 5 był on zamykany również przez sygnał $a_1k_1+a_2k_2$. Wydaje się, że wystarczy w tym celu przewody *1* i *2* połączyć zestykiem $1s_5$. Połączenie to w przypadku, gdy stół przed uruchomieniem cyklu znajduje się w jednym ze swych skrajnych położeń, spowoduje równocześnie ze startem (a więc przedwcześnie) załączenie przekaźnika W_0 a tym samym również i przekaźnika W. W rezultacie przedwczesnego załączenia przekaźnika W_0 cykl rozpocznie się od przestawienia sań w położenie tylne, zamiast rozpocząć się od posuwu stołu w odpowiednim kierunku. Wynika

z tego, że wspomniane połączenie przewodów *1* i *2* w cyklu nr 5 może nastąpić dopiero po odejściu stołu od łącznika krańcowego K_1, bądź też K_2. Trzeba więc szeregowo z zestykiem $1s_5$, przeznaczonym do połączenia przewodów *1* i *2* umieścić zestyk dowolnego przekaźnika, załączanego w pierwszej połowie cyklu i pozostającego w tym stanie do końca cyklu. Takim przekaźnikiem jest W. Na rysunku 191b przedstawiono schemat obwodów wzbudzenia przekaźników W_0 i X_0 po przeprowadzeniu omawianego wyżej uzupełnienia tych obwodów.

Teraz można wyrażenie strukturalne obwodu wzbudzenia przekaźnika uprościć do postaci $Q_3 = 1s_{4,5}w_0\bar{k}_7$. W wyrażeniu strukturalnym obwodu wzbudzenia przekaźnika Q_4 (posuw sań do przodu) można usunąć zestyk $1s_5$ ponieważ, jak to zaznaczono wyżej, zderzaki przestawiające łącznik K_5 są zakładane jedynie w cyklach nr 2 i 5, a w cyklu nr 2 sanie znajdują się stale w położeniu przednim. Na schemacie rys. 191b przedstawiono obwody wzbudzenia przekaźników W_0, X_0, W, X oraz Q_3 i Q_4. W obwodach wzbudzenia ostatnich czterech przekaźników wspólny człon a_1+a_2 został zastąpiony przez równoważny mu człon $a_1\bar{a}_2+\bar{a}_1a_2$, w sposób, który został wyjaśniony przy okazji syntezy obwodów przekaźników A_1 i A_2 w rozdziale dziewiątym.

Podzespół napędu wrzeciona obejmuje dwa oddzielne obwody wyjściowe, obwód zasilania silnika napędu wrzeciona *2M* oraz obwód sprzęgieł elektromagnetycznych V_8 i V_9, służących do zmiany prędkości obrotowej wrzeciona.

Z założeń wynika, że zmianę kierunku obrotów freza uzyskuje się przez zmianę kierunku obrotów silnika *2M*. Podczas trwania automatycznego cyklu pracy zmiana taka może mieć miejsce jedynie w tych cyklach, w których do obróbki wykańczającej danego przedmiotu jest używany inny frez, niż do obróbki zgrubnej, a więc w cyklach nr 4 i 5. Ponieważ frezowanie odbywa się jedynie w skrajnych położeniach sań, a w dodatku frezowanie zgrubne — zawsze w ich przednim położeniu, frezowanie zaś wykańczające — w tylnym, od razu nasuwa się wniosek, aby zasilanie silnika *2M* wyłączać na okres przesuwu sań do tyłu, po czym ponownie załączać silnik na pracę w przeciwnym kierunku obrotów. Takie sterowanie zmianą kierunku obrotów — stosowane oczywiście jedynie w przypadku dwóch frezów o przeciwnych skrętach — zapewnia, że czas wyłączenia obrotów silnika będzie wystarczająco długi do pełnego wyhamowania, dzięki czemu unika się niepotrzebnego intensywnego nagrzewania silnika podczas hamowania przeciwprądem oraz zmniejsza się obciążenie styków w stycznikach.

Do wyboru i ewentualnej zmiany kierunku obrotów silnika *2M* służy, jak to podano w założeniach, przełącznik selekcyjny *3S*, który można ustawić w jednym z czterech położeń: 1) tylko obroty w prawo, 2) tylko obroty w lewo, 3) obroty w prawo w pierwszej połowie cyklu, a w lewo — w drugiej połowie, 4) obroty w lewo w pierwszej połowie cyklu, a w prawo — w drugiej.

Ponieważ ewentualna zmiana kierunku obrotów silnika *2M* następuje, jak ustaliliśmy poprzednio — jedynie podczas przestawiania sań, to ustawienie przełącznika *3S* w położeniu trzecim lub czwartym nie wprowadzi żadnych zakłóceń do przebiegu sterowania, mimo, że przełącznik *1S* będzie ustawiony w położeniu pierwszym, drugim lub trzecim. Ustawienie takie spowoduje po prostu, że silnik przez cały czas będzie się obracał albo w prawo (gdy *3S* jest ustawiony w położeniu trzecim), albo też w lewo (gdy *3S* jest w położeniu czwartym). To spostrzeżenie pozwala na pominięcie zestyków przełącznika rodzaju cyklu *1S* w obwodach sterowania kierunkiem obrotu silnika *2M*.

Zanotujemy jeszcze, że silnik *2M* powinien być załączony na początku każdego cyklu.

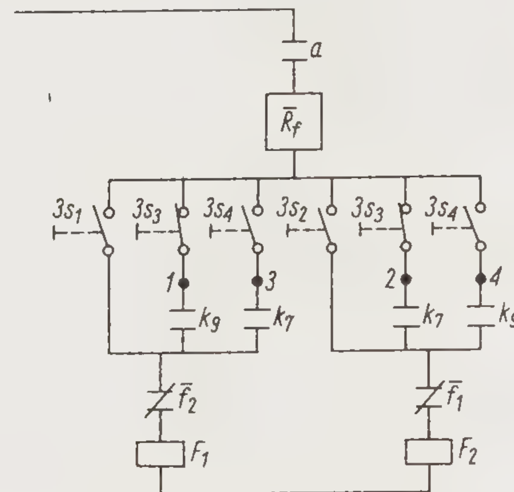
Oznaczając przez F_1 stycznik załączający silnik *2M* na obroty w prawo, przez F_2 — na obroty w lewo, można zapisać wyniki podanych wyżej rozważań

w postaci następujących wyrażeń strukturalnych

$$F_1 = a(3s_1+3s_3k_9+3s_4k_7)\bar{f}_2\bar{R}_f$$

$$F_2 = a(3s_2+3s_3k_7+3s_4k_9)\bar{f}_1\bar{R}_f$$

gdzie $\bar{R}_f$ oznacza wspólny dla obu styczników człon wyłączający. Na rys. 192 przedstawiono schemat obwodów wzbudzenia F_1 i F_2 odpowiadający podanym wyżej wyrażeniom strukturalnym.



Rys. 192. Schemat obwodów wzbudzenia styczników F_1 i F_2, sterujących załączaniem i zmianą kierunku obrotów silnika napędu wrzeciona. Pierwszy etap projektu

Ustalając funkcję wyłączania napędu wrzeciona R_f należy wziąć pod uwagę, że według założeń z chwilą wyłączenia napędu wrzeciona zostają załączone oba sprzęgła V_6 i V_7 w celu szybkiego wyhamowania obrotów. Funkcja R_f powinna więc przyjmować wartość 1 (wyłączenie napędu) możliwie wcześnie, aby po spowodowanym przez nią załączeniu obu sprzęgieł wrzeciono zostało zahamowane i zatrzymane przed zakończeniem cyklu. Najwłaściwszym momentem wyłączenia napędu freza jest zakończenie frezowania w danym cyklu. Jako sygnał zakończenia obróbki można przyjąć

a) w cyklu nr 1 — dojście stołu do pierwszego położenia krańcowego ($1s_1w_0$ lub $1s_1w$);
b) w cyklu nr 2 — dojście stołu do drugiego położenia krańcowego ($1s_2x_0$ lub $1s_2x$);
c) w cyklu nr 3 — powtórne dojście stołu do pierwszego położenia krańcowego, a więc sygnał w_0 pojawiający się po załączeniu przekaźnika pamięci X ($1s_3xw_0$);
d) w cyklu nr 4 — dojście stołu do drugiego położenia krańcowego, analogicznie jak w cyklu nr 2 ($1s_4x_0$ lub $1s_4x$);
e) w cyklu nr 5 — dojście stołu do położenia środkowego (naciśnięcie łącznika K_5) po uprzednim dojściu do drugiego położenia krańcowego ($1s_5xk_5$)

A zatem $R_f = 1s_1(w)+1s_{2,4}(x)+1s_3xw_0+1s_5xk_5$ (w nawiasy zostały ujęte te litery w i x, które można zastąpić przez w_0 i x_0).

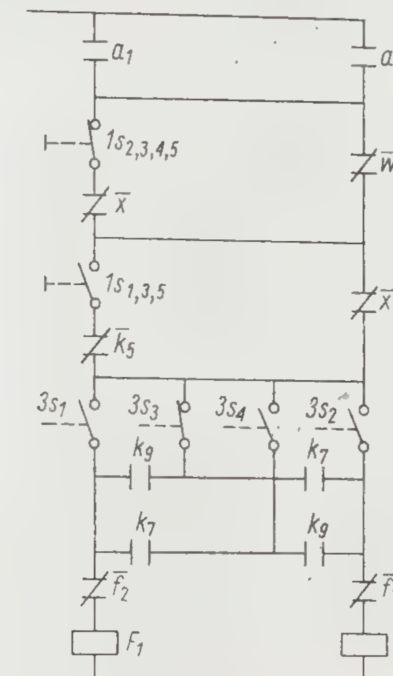
Czynniki odpowiadające w powyższym wyrażeniu strukturalnym zestykom przełącznika selekcyjnego $1S$ zapewniają, że w danym położeniu przełącznika wyłączenie napędu ($R_f = 1$) następuje w wyniku pojawiania się sygnału właściwego dla nastawionego cyklu pracy. Gdyby na przykład pominąć w pierwszym wyrażeniu $1s_1$ zostawiając samo w (lub w_0), to nie tylko w pierwszym, lecz w każdym cyklu sygnał w, który pojawia się wcześniej niż sygnał x, powodowałby wyłączenie napędu wrzeciona. Najdłużej trwającym cyklem pracy jest cykl nr 3, jest to bowiem cykl podwójny. W żadnym innym stół nie dochodzi dwukrotnie do pierwszego położenia krańcowego. W wyrazie $1s_3xw_0$ można więc pominąć czynnik $1s_3$, pozostawiając jedynie xw_0. Podobnie można pominąć $1s_5$ w wyrazie $1s_5xk_5$, ponieważ w cyklach nr 1, 3 i 4 nie zostaje założony zderzak przestawiający łącznik K_5 w położenie wymuszone, a w cyklu nr 2 sygnał wyłączenia x pojawia się wcześniej niż sygnał xk_5. Tak więc funkcję wyłączenia można uprościć do postaci

$$R_f = 1s_1(w)+1s_{2,4}(x)+xw_0+xk_5 = (1s_1+x)w_0+(1s_{2,4}+k_5)x$$

Po przeprowadzeniu działania negacji nad tą funkcją otrzymuje się szukane wyrażenie strukturalne członu wyłączającego

$$\bar{R}_f = (\bar{w}_0+\overline{1s_1}\bar{x})(\overline{1s_{2,4}}\bar{k}_5+\bar{x}) = (1s_{2,3,4,5}\bar{x}+\bar{w}_0)(1s_{1,3,5}\bar{k}_5+\bar{x})$$

Po wprowadzeniu do schematu na rys. 192 członu wyłączającego, odpowiadającego ustalonemu wyżej wyrażeniu strukturalnemu $\bar{R}_f$ oraz po przeprowadzeniu redukcji jednego zestyku $3s_3$ i jednego $3s_4$ przez połączenie przewodu *1* z przewodem *2*, a przewodu *3* z przewodem *4* dochodzimy do układu styczników, przedstawionego na rys. 193. Wspomniane połączenie przewodów jest dozwolone, gdyż wprowadza ono do układu jedynie stale otwarte dodatkowe linie łączeń k_7k_9.



Rys. 193. Pełny schemat obwodu sterowania automatycznego silnikiem posuwów

Obwody wzbudzenia przekaźników Q_6 i Q_7, załączających sprzęgła wrzeciona V_6 i V_7, powinny odpowiadać następującym warunkom:

a) gdy przełącznik selekcyjny $2S$ jest ustawiony w położeniu pierwszym, zostaje załączony tylko przekaźnik Q_6,

b) gdy przełącznik $2S$ jest w położeniu drugim, zostaje załączony tylko przekaźnik Q_7

c) gdy przełącznik $2S$ jest ustawiony w położeniu trzecim, do momentu zakończenia obróbki zgrubnej pozostaje załączony przekaźnik Q_6 następnie zostaje on wyłączony i na okres obróbki wykańczającej zostaje załączony przekaźnik Q_7,

d) gdy silnik napędu wrzeciona zostaje wyłączony, powinny zostać załączone oba przekaźniki Q_6 i Q_7,

e) po zakończeniu pracy obrabiarki w cyklu automatycznym powinny zostać wyłączone oba sprzęgła, a więc i oba przekaźniki,

f) na początku cyklu nie powinny być załączone oba przekaźniki lecz tylko jeden przekaźnik, mimo że w trakcie przejściowym uruchamiania cyklu mogą już być zamknięte zestyki zwierne przekaźnika pracy w cyklu automatycznym (a_1 lub a_2) a jeszcze nie załączony żaden ze styczników F.

Z warunku e) wynika, że we wspólnym obwodzie przekaźników Q_6 i Q_7 należy umieścić zestyki a_1+a_2. Ponieważ podczas pracy obrabiarki w cyklu automatycznym jest zawsze załączony albo przekaźnik Q_6, albo Q_7, to warunek d można spełnić, łącząc linią łączeń $\bar{f}_1\bar{f}_2$ przewody doprowadzające napięcie do przekaźników Q_6 i Q_7. Aby jednak jednocześnie mógł być spełniony warunek f) do tej linii należy włączyć zestyk zwierny takiego przekaźnika, który zostaje załączony możliwie wcześnie po rozpoczęciu cyklu i który pozostaje w stanie załączenia do zakończenia cyklu. Warunki te spełnia przekaźnik W, a więc wyrażeniem strukturalnym wspomnianej linii łączeń będzie $w\bar{f}_1\bar{f}_2$.

Warunek c) dotyczy jedynie tych cykli pracy, podczas których przedmiot podlega dwukrotnej obróbce: zgrubnej i wykańczającej. Są to cykle nr 3, 4 i 5. Należy jeszcze ustalić sygnał przekazujący informację o tym, kiedy ma być prowadzona obróbka zgrubna, a kiedy wykańczająca. Ponieważ w omawianach cyklach obróbkę zgrubną przeprowadza się przy nie opuszczonym wrzecienniku (gdy $Q_8=0$), obróbkę zaś wykańczającą przy wrzecienniku opuszczonym (gdy $Q_8=1$) to warunek c) zostanie spełniony, jeżeli do obwodu wzbudzenia Q_6 wprowadzimy linię łączeń $1s_{3,4,5}2s_3\bar{q}_8$, a do obwodu wzbudzenia Q_7 — linię łączeń $1s_{3,4,5}2s_3q_8$.

Po ustaleniu wszystkich trzech warunków można napisać wyrażenia strukturalne obwodów przekaźników Q_6 i Q_7

$$Q_6=(a_1+a_2)(2s_1+1s_{3,4,5}2s_3\bar{q}_8+w\bar{f}_1\bar{f}_2)$$

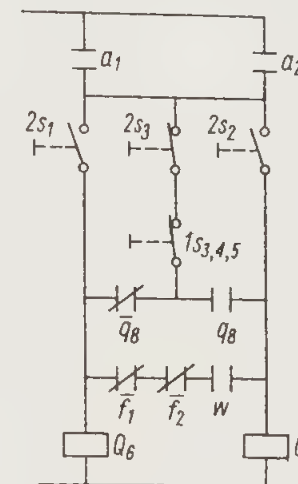
$$Q_7=(a_1+a_2)(2s_1+1s_{3,4,5}2s_3q_8+w\bar{f}_1\bar{f}_2)$$

Ponieważ $\bar{q}_8q_8=0$, można w układzie sterowania przekaźników Q_6 i Q_7 zastosować obwody mostkowe, tak jak to zrobiliśmy w przypadku styczników F_1 i F_2 (rys. 194). Tym razem nie można jednak pominąć zestyku $1s_{3,4,5}$, ponieważ wtedy w cyklach nr 1 i 2 podczas frezowania następowałoby kolejne załączenie obu przekaźników, a więc i obu sprzęgieł V_6 i V_7.

W obwodach przekaźników Q_6 i Q_7 nie występują ich własne zestyki zwierne, są to więc obwody jednotaktowe. Pośrednictwo tych przekaźników można by więc wyeliminować, a ich obwody wzbudzenia przenieść wprost do obwodów zasilania uzwojeń wzbudzenia sprzęgieł V_6 i V_7. Z decyzją w tej sprawie trzeba jednak poczekać do następnego, czwartego etapu opracowywania projektu układu, a mianowicie do czasu uzupełnienia obwodów pierwszej wersji projektowania odpowiednio do potrzeb sterowania ręcznego.

Obwody sterowania luzowaniem i zaciskaniem oraz doskokiem i odskokiem wrzeciennika zostały w dwu wariantach opracowane w rozdziałach siódmym, dziewiątym i dziesiątym. Jeden wariant zakładał wprowadzenie do układu sygnału doskoku nie zanikającego przez cały czas trwania doskoku (sygnał d), drugi zaś wprowadzenie dwóch oddzielnych sygnałów: doskoku d_1 i odskoku d_2. Obecnie do realizacji wybieramy wariant pierwszy, ponieważ jest on prostszy mimo, że wymaga zastosowania dodatkowego przekaźnika D.

Obwód wzbudzenia przekaźnika D, przedstawiony na rys. 104, nie uwzględniał pracy w cyklach nr 4 i 5 oraz w cyklach lewych. Prócz tego przy projektowaniu obwodu rys. 104 przyjęto ze względów dydaktycznych, że w cyklu nr 2 wrzeciennik obniża się tylko jeden raz przez rozpoczęciem obróbki pierwszego przedmiotu i w tym położeniu pozostaje aż do końca cyklu. W rzeczywistości po ukończeniu obróbki pierwszego przedmiotu zostaje załączony odskok, aby podczas szybkiego ruchu powrotnego stołu frez nie ocierał się o obrobiony przed chwilą przedmiot. Z tych powodów obwód przekaźnika D trzeba będzie uzupełnić i zmienić w porównaniu z obwodem rys. 104. Ustalimy zatem sygnały załączające i sygnały wyłączające przekaźnik D w pięciu różnych cyklach obróbki:



Rys. 194. Schemat obwodów wzbudzenia przekaźników prędkości obrotowej wrzeciona

a) w cyklu nr 1 załączenie następuje przy pierwszym wyłączeniu szybkiego posuwu, a więc sygnałem załączenia doskoku powinien być $1s_1\bar{r}_1$ (rys. 190c). Jeżeli jednak, jak w omawianym przypadku, sygnał załączenia jednego przekaźnika (np. przekaźnika D) ma być przekazywany przez zestyk rozwierny drugiego przekaźnika R_1, załączanego z chwilą uruchamiania pracy w cyklu, to załączeniu przekaźnika R_1 na początku cyklu będzie towarzyszył wyścig krytyczny. Aby do wyścigu nie dopuścić, trzeba szeregowo z zestykiem $\bar{r}_1$ w obwodzie D połączyć zestyk zwierny takiego przekaźnika, który będzie załączany po rozpoczęciu pracy w cyklu, ale przed momentem przewidzianego załączenia przekaźnika D. Zestyk tego, narazie jeszcze nie ustalonego przekaźnika, oznaczymy literą v, a gdy w dalszym ciągu projektowania znajdziemy przekaźnik spełniający podane wyżej wymagania, zestyk v zastąpimy zestykiem zwiernym tego przekaźnika. A zatem jako sygnał załączenia doskoku w cyklu nr 1 przyjmiemy $1s_1\bar{r}_1v$

Sygnałem wyłączenia doskoku w cyklu Nr 1 jest dojście stołu do pierwszego położenia krańcowego, a więc sygnał $1s_1w_0$.

b) W cyklu nr 2 sygnałem załączenia doskoku (przekazywanym dwukrotnie do obwodu wzbudzenia przekaźnika D, gdy $k_3q_1=1$ i gdy $k_4q_2=1$) będzie wyłączenie szybkiego posuwu przed rozpoczęciem obróbki, czyli sygnał $1s_2\bar{r}_1v$. Sygnałem wyłączenia doskoku będzie dojście stołu do pierwszego i do drugiego położenia krańcowego, a więc $1s_2(w_0+x_0)$. Ten sam sygnał można przyjąć również w cyklu nr 1, ponieważ dodany sygnał x_0 pojawia się w pierwszym cyklu wtedy, gdy wrzeciennik znajduje się w położeniu opuszczonym, a więc gdy $D=0$.

c) W cyklu nr 3 sygnałem załączenia doskoku będzie wyłączenie przekaźnika R_1 podczas drugiego z kolei posuwu stołu w kierunku przedmiotu, a więc $1s_3\bar{r}_1w$ (w tym cyklu przekaźnik R_1 nie jest wyłączany podczas szybkiego powrotu stołu,

ponieważ w prawym cyklu nr 3 nie jest zakładany zderzak łącznika K_4, a w cyklu lewym zderzak łącznika K_3; zderzaki te są stosowane jedynie w cyklach nr 2 i 5). Sygnałem wyłączenia doskoku jest w tym cyklu powtórne dojście stołu do pierwszego położenia skrajnego, a więc $1s_3xw_0$. Można jednak przyjąć również taki sam sygnał wyłączenia, jak w poprzednich cyklach $1s_3(w_0+x_0)$, ponieważ przy pierwszym dojściu stołu do pierwszego i do drugiego położenia krańcowego (gdy odpowiednio $\bar{x}w_0 = 1$ i $x_0 = 1$) przekaźnik D nie jest jeszcze załączony, a więc sygnały wyłączenia pojawiające się w tych momentach są sygnałami biernymi.

d) W cyklu nr 4 doskok powinien nastąpić w chwili dojścia sań do położenia tylnego ($k_7 = 1$), gdy stół znajduje się w pierwszym położeniu skrajnym ($w_0 = 1$), sygnałem załączenia doskoku będzie więc $1s_4k_7w_0$. Sygnałem wyłączenia doskoku w tym cyklu będzie dojście stołu do drugiego położenia krańcowego, a więc $1s_4x_0$, albo $1s_4x$.

e) W cyklu nr 5 doskok powinien nastąpić z chwilą dojścia sań do położenia tylnego, gdy stół znajduje się w pierwszym lub w drugim położeniu krańcowym. Odpowiednim sygnałem załączenia będzie więc $1s_5k_7(w_0+x_0)$. Ponieważ jednak przekaźnik W_0 (rys. 191b) jest w cyklu nr 5 załączany w obu skrajnych położeniach stołu, można w tym cyklu, jak w cyklu nr 4 jako sygnał załączenia doskoku przyjąć $1s_5k_7w_0$. Sygnałem wyłączenia w cyklu nr 5 będzie dojście stołu do położenia środkowego, a więc $1s_5k_5$.

Łącząc w jedno wyrażenie sygnały załączania przekaźnika D w różnych cyklach pracy, otrzymamy

$$1s_{1,2}\bar{r}_1v + 1s_3w\bar{r}_1 + 1s_{4,5}w_0k_7$$

Ponieważ k_7 może mieć wartość 1 tylko w cyklach nr 4 i 5 można w ostatnim wyrazie skreślić czynnik $1s_{4,5}$, a wtedy sygnał załączenia przekaźnika D uprości się do postaci

$$(1s_{1,2}v + 1s_3w)\bar{r}_1 + w_0k_7$$

Łącząc z kolei w jedno wyrażenie sygnały wyłączenia przekaźnika D, otrzymamy

$$R_d = 1s_{1,2,3}(w_0+x_0) + 1s_4x_0 + 1s_5k_5$$

W wyrażeniu tym można pominąć czynnik $1s_5$. Wprawdzie sygnał k_5 pojawia się poza cyklem nr 5 również w cyklu nr 2, jednak w tym momencie, gdy $D = 0$, w tym cyklu jest on więc sygnałem biernym. Zatem

$$R_d = 1s_{1,2,3}(w_0+x_0) + 1s_4x_0 + k_5 = 1s_{1,2,3}w_0 + 1s_{1,2,3}x_0 + 1s_4x_0 + k_5 =$$
$$= 1s_{1,2,3}w_0 + 1s_{1,2,3,4}x_0 + k_5$$

a stąd

$$\bar{R}_d = (1s_{4,5} + \bar{w}_0)\,(1s_5 + \bar{x}_0)\,\bar{k}_5$$

Wyrażeniem strukturalnym obwodu wzbudzenia przekaźnika D będzie więc

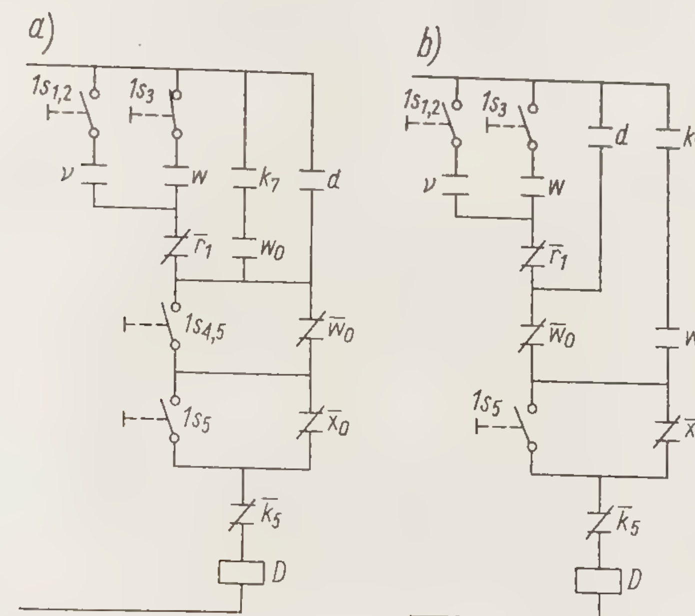
$$D = [(1s_{1,2}v + 1s_3w)\bar{r}_1 + w_0k_7 + d)](1s_{4,5} + \bar{w}_0)(1s_5 + \bar{x}_0)k_5$$

Schemat takiego obwodu przedstawiono na rys. 195a.

Zwróćmy uwagę, że w sygnałach załączania i wyłączania przekaźnika D powtarzają się we wszystkich cyklach stale sygnały wejściowe odpowiadające dojściu stołu do położeń krańcowych (sygnały w i x, ewentualnie w_0, x_0). Wyjątek stanowi jedynie sygnał wyłączania cyklu nr 5, jest nim bowiem k_5.

Obwód przekaźnika D dla czterech pierwszych cykli powinien więc mieć strukturę prostszą, niż obwód z rys. 195a. Jeśli zwrócimy uwagę, że sygnał wyłączania jest jednakowy w cyklach nr 1, 2 i 3, to można będzie zaprojektować ten obwód, jako sumę dwóch równoległych gałęzi, jednej dla cyklu nr 1, 2 i 3, drugiej zaś dla cyklu nr 4. Przy takich założeniach otrzymamy

$$D = [(1s_{1,2} + 1s_3w)\bar{r}_1 + d]\bar{w}_0\bar{x}_0 + 1s_4(w_0k_7 + d)\bar{x}_0 =$$
$$= \{[(1s_{1,2} + 1s_3w)\bar{r}_1 + d]\bar{w}_0 + 1s_4(w_0k_7 + d)\}\bar{x}_0$$



Rys. 195. Obwód wzbudzenia przekaźnika doskoku wrzeciennika: a) pierwsza wersja, b) ten sam obwód po uproszczeniu

W tym wyrażeniu nie można jednak pominąć czynnika $1s_4$, jak to zrobiliśmy w wyrażeniu poprzednim, ponieważ tym razem jest on skojarzony nie tylko z wyrazem w_0k_7 lecz również z wyrazem d, przyjmującym wartość 1 we wszystkich cyklach. Jeżeli jednak w wyrazie w_0k_7 zastąpimy w_0 przez w, to okaże się, że sygnał podtrzymania zasilania w cyklu nr 4 jest zbędny, a wtedy omawiane wyrażenie uprości się do postaci

$$D = \{[(1s_{1,2} + 1s_3w)\bar{r}_1 + d]\bar{w}_0 + wk_7\}\bar{x}_0$$

Cykl nr 5 nie wnosi zmian do sygnałów załączania, a jedynie do sygnałów wyłączania, w tym cyklu sygnałem wyłączenia jest nie x_0, lecz k_5. Wystarczy więc w ostatniej postaci wyrażenia strukturalnego obwodu D zamiast $\bar{x}_0$ wpisać $\bar{x}_0 + 1s_5$ i dodać czynnik $\bar{k}_5$, by w ten sposób uwzględnić również warunek wyłączania przekaźnika D w cyklu nr 5.

Ostatecznie więc wyrażenie strukturalne obwodu D dla wszystkich cykli pracy będzie miało postać

$$D = \{[(1s_{1,2} + 1s_3w)\bar{r}_1 + d]\bar{w}_0 + wk_7\}(\bar{x}_0 + 1s_5)\bar{k}_5$$

Do realizacji obwodu, określonego tym wyrażeniem, wystarczy jedenaście zestyków, zamiast dwunastu wchodzących w skład obwodu na rys. 195a. Redukcji uległ zestyk $1s_{4,5}$.

Pełny układ sterowania doskokiem i odskokiem wrzeciennika (dla pracy w trzech cyklach) podano w rozdziale dziewiątym. Rozszerzenie zakresu sterowania automatycznego na dodatkowe dwa cykle oraz na dwie odmiany każdego

cyklu (prawy i lewy) spowodowały konieczność wprowadzenia poważnych zmian do obwodu przekaźnika D. Pozostałe obwody układu zasadniczo nie wymagają zmian. Jednakże zamiast zestyku przekaźnika Y wprowadzonego specjalnie dla pracy w cyklu nr 3, w schemacie na rys. 195 został wykorzystany zestyk w. Tym samym przekaźnik Y staje się zbędny. Pozostałe przekaźniki układu z rys. 161 otrzymują obecnie inne oznaczenia, a mianowicie: poprzednie oznaczenie przekaźnika X, załączającego doskok wrzeciennika zmieni się na Q_8, przekaźnika Z (załączanie luzowania) — na Q_9, oznaczenia elektrozaworów L i A zmienią się odpowiednio na E_1 i E_2. Zamiast jednego sprzęgła posuwu, oznaczonego na rys. 161 przez Q_0, występują teraz dwa sprzęgła kierunkowe posuwu stołu V_1 i V_2 oraz dwa przekaźniki Q_1 i Q_2, sterujące ich wzbudzeniem, jak to pokazano na rys. 170.

Załóżmy na razie, że wyłączanie posuwu stołu przyjmie na siebie wspólny człon obwodów wzbudzenia sprzęgieł V_1 i V_2. Człon ten powinien zapewniać wyłączenie posuwu nie tylko na czas przestawiania wrzeciennika, lecz również na czas posuwu sań, gdy jest załączony przekaźnik Q_3, lub Q_4. Wreszcie zatrzymanie posuwu powinno nastąpić w przypadku wyłączenia silnika napędu wrzeciona $2M$, jeżeli w tym czasie nie jest załączone sprzęgło szybkiego posuwu. Podane warunki wyznaczają wyrażenie strukturalne wspólnego członu wyłączania sprzęgieł V_1 i V_2 $\bar{k}_0 q_3\bar{q}_4\bar{q}_9(f_1+f_2+q_5)$.

Gdy ustalony wyżej wspólny człon wyłączający sprzęgieł posuwu stołu jest otwarty, powinien być załączony hamulec H_1. Warunek ten łatwo można zrealizować wprowadzając przekaźnik pośredniczący Q_0, którego obwód wzbudzenia będzie odpowiadał omawianemu członowi wyłączania sprzęgieł V_1 i V_2, a więc $Q_0 = \bar{k}_0\bar{q}_3\bar{q}_4\bar{q}_9(f_1+f_2+q_5)$. Wtedy wyrażeniami strukturalnymi obwodów wzbudzenia sprzęgieł V_1 i V_2 będą: $V_1 = q_0q_1$; $V_2 = q_0q_2$. Obwód wzbudzenia hamulca H_1 powinien być zamknięty (hamulec załączony), wtedy, gdy $V_1+V_2 = q_0(q_1+q_2) = 0$, a zatem $H_1 = \bar{q}_0+\bar{q}_1\bar{q}_2$. Po wprowadzeniu omówionych zmian i uzupełnień schemat obwodów wzbudzenia odpowiednich przekaźników, sprzęgieł i elektrozaworów będzie miał strukturę przedstawioną na rys. 196. Na schemacie rys. 196a podano obwody wzbudzenia przekaźników Q_1 i Q_2 według rysunku 170; schemat rys. 196b uzupełniono jeszcze obwodem wzbudzenia hamulca posuwu poprzecznego $H_2 = \bar{q}_3\bar{q}_4$.

Zwróćmy jeszcze uwagę, że zestyk zwierny przekaźnika Q_0 spełnia również warunki postawione zestykowi v na rys. 195.

Pozostaje jeszcze uzupełnić obwody wzbudzenia przekaźników pracy w cyklach automatycznych (przekaźników A_1 i A_2 z rys. 175), aby odpowiadały one warunkom pracy również w nie uwzględnionych poprzednio cyklach nr 4 i 5. Zmiany mogą dotyczyć jedynie członu wyłączającego, ponieważ warunki uruchomienia pracy w cyklu automatycznym pozostają jednakowe we wszystkich cyklach.

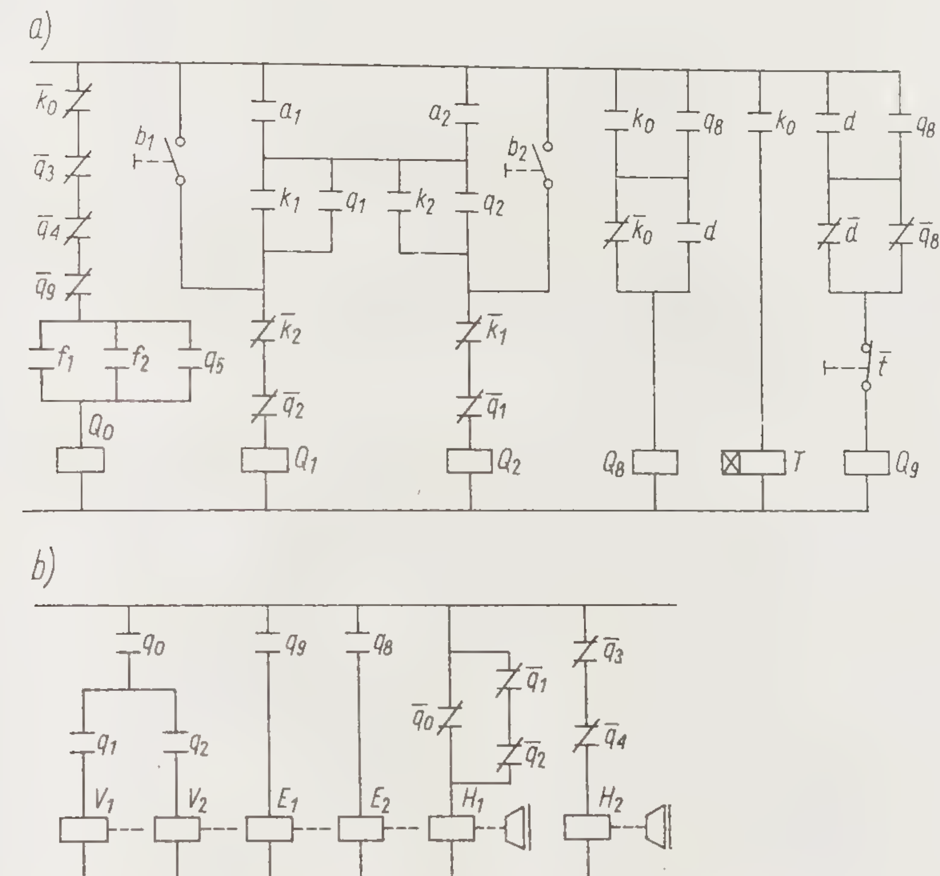
Cykl nr 4 kończy się po dojściu stołu do drugiego położenia krańcowego ($x_0 = 1$, $x = 1$) i dojściu sań do położenia przedniego ($k_9 = 1$), sygnałem wyłączenia przekaźników A_1 i A_2 będzie więc w tym cyklu $1s_4k_9(x)$.

W cyklu nr 5 sygnałem zakończenia będzie $1s_5k_9xk_5$.

Zwróćmy jeszcze uwagę, że przy projektowaniu obwodów przekaźników A_1 i A_2 w rozdziale dziewiątym przyjęto, iż w cyklu 3 przekaźnik W zostaje załączony dopiero po powtórnym dojściu stołu do pierwszego położenia krańcowego, gdy wrzeciennik znajduje się w dolnym położeniu. Dzięki temu przekaźnik X mógł być załączony dopiero przy powtórnym dojściu stołu do drugiego położenia krańcowego, a więc w końcu cyklu. Obecnie sygnałem zakończenia pracy w cyklu nr 3 nie może już być x, ponieważ teraz $x = 1$ już w połowie cyklu, gdy

stół po raz pierwszy dojdzie do drugiego położenia krańcowego. Trzeba więc znaleźć takie uzupełnienie φ sygnału x, aby iloczyn $\varphi\, x$ przybierał wartość 1 nie przy pierwszym, lecz przy drugim dojściu stołu do drugiego położenia krańcowego. Otóż w cyklu nr 3 przy pierwszym dojściu stołu do drugiego położenia krańcowego pracuje jeszcze silnik $2M$ (napęd wrzeciona). Silnik nie pracuje zaś przy powtórnym dojściu stołu do tego punktu, zatem $\varphi = \bar{f}_1\bar{f}_2$ a sygnał zakończenia pracy w cyklu nr 3 przyjmuje postać $1s_3x\bar{f}_1\bar{f}_2$. Uwzględniając ustalone w rozdziale dziewiątym sygnały zakończenia pracy w cyklach nr 1 i 2 otrzymamy następującą funkcję wyłączenia dla przekaźników A_1 i A_2.

$$R_a = 1s_1x+1s_2xk_5+1s_3x\bar{f}_1\bar{f}_2+1s_4k_9x+1s_5k_9xk_5$$



Rys. 196. Układ sterowania posuwami stołu i doskokiem wrzeciennika: a) obwody wzbudzenia przekaźników pośredniczących, b) obwody wzbudzenia sprzęgieł elektromagnetycznych i elektrozaworów

W cyklach nr 1,2 i 3 sanie znajdują się stale w położeniu przednim, stale więc $k_9 = 1$, a więc czynnik ten można dodać do wszystkich wyrazów, występujących w funkcji wyłączania R_a i wynieść go przed nawias. Można również włączyć do wszystkich wyrażeń iloczyn $\bar{f}_1\bar{f}_2$, ponieważ wyłączenie napędu freza ma miejsce zawsze przed zakończeniem cyklu. Te spostrzeżenia pozwalają jako funkcję wyłączania przyjąć

$$R_a = k_9x\bar{f}_1\bar{f}_2(1s_{1,3,4,}+1s_{2,5}k_5)$$

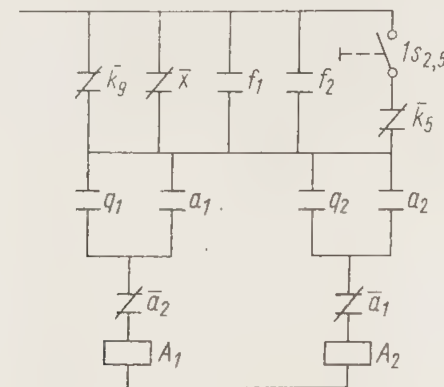
Zwróćmy uwagę jeszcze, że $1s_{2,5} = \overline{1s_{1,3,4}}$, a więc na podstawie wzoru 14a funkcję wyłączenia R_a można uprościć do postaci

$$R_a = k_9x\bar{f}_1\bar{f}_2(1s_{1,3,4}+k_5),$$

skąd

$$\overline{R}_a = (\overline{k}_9+\overline{x}+f_1+f_2+\overline{1s_{1,3,4}\overline{k}_5}) = \overline{k}_9+\overline{x}+f_1+f_2+1s_{2,5}\overline{k}_5$$

Tak uzupełniony obwód przekaźników A_1 i A_2 podano na rysunku 197.



Rys. 197. Pełne obwody wzbudzenia przakaźników pracy w cyklach automatycznych

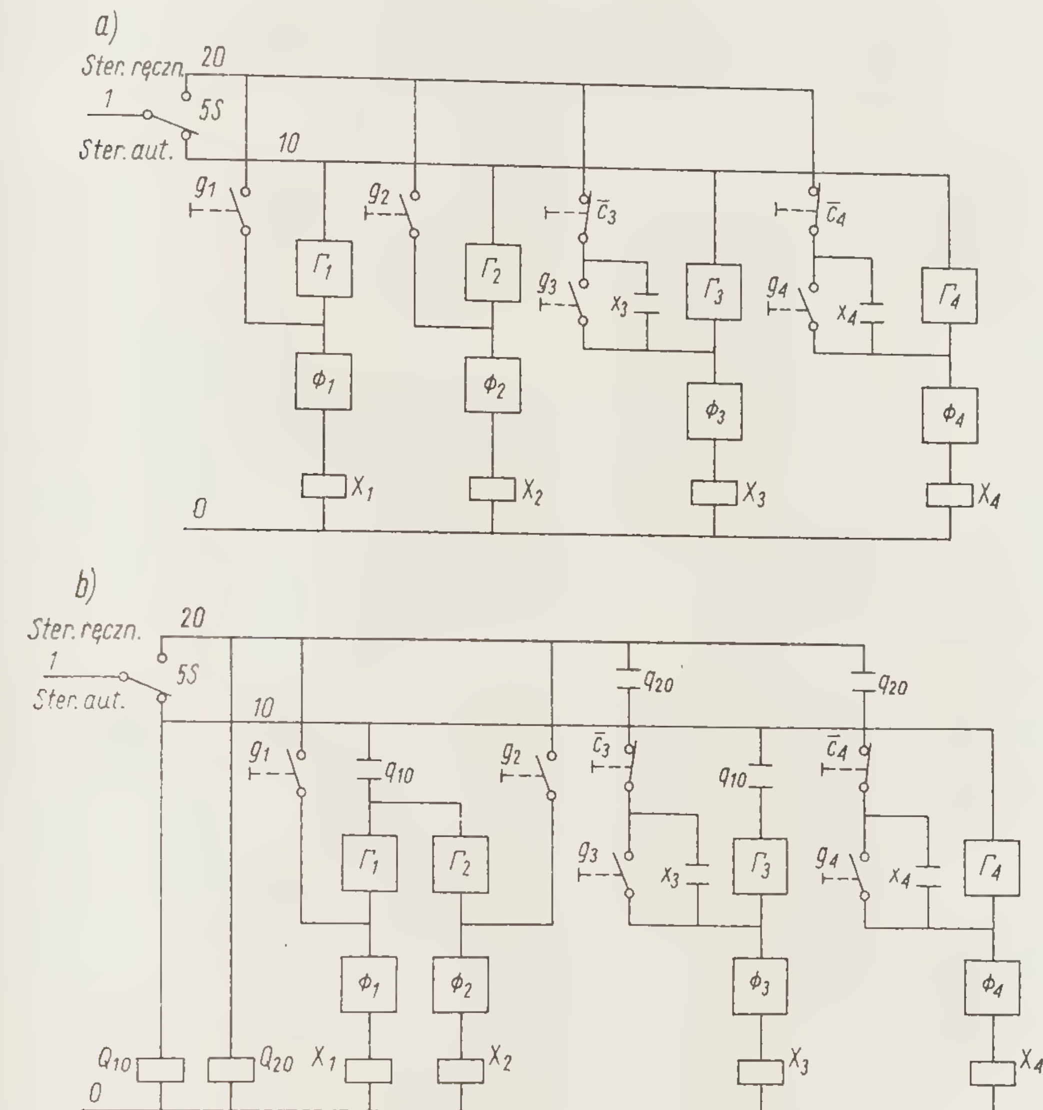
2.3. Uzupełnienie zaprojektowanych obwodów sterowania odpowiednio do wymagań sterowania ręcznego i ustawczego oraz wprowadzenie ewentualnych korekt

Omówimy obecnie wymagania stawiane projektowanemu układowi przy sterowaniu ręcznym i przy ustawianiu obrabiarki do pracy. Wymagania te, stanowiące istotną część założeń powinny być omówione w punkcie 2.1., dotyczącym pierwszego etapu prac projektowych. Zostały one jednak wtedy pominięte, aby nie utrudniać czytelnikowi zapoznania się z założeniami do pracy frezarki w cyklach automatycznych. Założenia do pracy układu przy sterowaniu ręcznym będą obecnie podane przy omawianiu poszczególnych fragmentów układu opracowanych w pierwszej wersji w punkcie 2.2. Przedtem jeszcze zostaną omówione ogólne zasady przełączania i rozdzielania obwodów sterowania ręcznego i automatycznego. Do tego celu jest zwykle przewidziany oddzielny przełącznik dwupołożeniowy (przełącznik *5S* na rys. 198), który w jednym położeniu łączy przewód *1*, doprowadzający napięcie do układu sterowania, z przewodem *10* (zasilanie obwodów sterowania automatycznego), w drugim zaś położeniu łączy przewód *1* z przewodem *20* (zasilanie obwodów sterowania ręcznego). Zamiast oddzielnego przełącznika wykorzystuje się czasem zestyki przełącznika selekcyjnego, przewidzianego do wybierania rodzaju cyklu. W takim przypadku przełącznik poza położeniami odpowiadającymi wybieranym cyklom pracy powinien mieć dodatkowe położenie przeznaczone do sterowania ręcznego obrabiarki. W układzie opracowanym obecnie wykorzystany będzie oddzielny przełącznik *5S*.

Na rysunku 198a przedstawiono w ujęciu syntetycznym obwody sterowania czterech przekaźników X_1 do X_4. Przyciski *C* i *G* w tym układzie przewidziane są wyłącznie do sterowania ręcznego. Jak łatwo sprawdzić, do przełączenia układu sterowania z pracy automatycznej na sterowanie ręczne nie wystarczy jeden zestyk przełączający przełącznika *5S*, a to z uwagi na możliwość powstawania w układzie niepożądanych linii łączeń. Linie takie powodują, że napięcie zasilania doprowadzone przewodem *1* przez zestyk przełącznika *5S* do jednego z przewodów zasilających (*10* lub *20*) w pewnych wypadkach występuje jednocześnie na obu przewodach, a to może stworzyć niedopuszczalną sytuację, w której

podczas pracy w cyklu automatycznym układ będzie reagował również na sygnały sterowania ręcznego i odwrotnie.

Niepożądane przedostanie się napięcia zasilającego do obwodów sterowania ręcznego (przewód *20*) podczas pracy obrabiarki w cyklu automatycznym może się zdarzyć, jeżeli w układzie występują przekaźniki, których obwody wzbudzenia są obwodami wielotaktowymi podczas sterowania ręcznego. W schemacie przedstawionym na rys. 198a takimi przekaźnikami są X_3 i X_4. Zamknięcie ob-



Rys. 198. Zasada przełączania układu na sterowanie ręczne i automatyczne: a) układ bez zestyków rozdzielających obwody sterowania ręcznego od obwodów sterowania automatycznego; b) ten sam układ uzupełniony zestykami rozdzielającymi obwody

wodu wzbudzenia któregokolwiek z tych przekaźników (np. przekaźnika X_3) podczas pracy w cyklu automatycznym powoduje, że przez jego zestyk zwierny (zestyk x_3 jeżeli został załączony przekaźnik X_3) przedostaje się napięcie na przewód *20*. W takiej sytuacji przypadkowe naciśnięcie jednego z przycisków sterowania ręcznego może spowodować niedopuszczalne zakłócenie przebiegu sterowania automatycznego przez załączenie przekaźnika, który w tym momencie nie powinien być załączony. Tak np. gdy podczas sterowania automatycznego przez zestyk x_3 napięcie zasilające przedostało się na przewód *20*, naciśnięcie przycisku G_2 lub innego, przeznaczonego wyłącznie do sterowania ręcznego,

spowoduje załączenie przekaźnika X_2, jeżeli w tym momencie jest zamknięty człon Φ_2 jego obwodu wzbudzenia.

W obwodach takiego rodzaju jak obwody przekaźników X_3 i X_4 należy zestykiem, otwartym przez cały czas sterowania automatycznego, oddzielić gałąź przeznaczoną wyłącznie do sterowania ręcznego od przewodu zasilającego (przewodu *20*).

Zabezpieczanie nie jest konieczne w obwodach, które przy sterowaniu ręcznym mają charakter obwodów jednotaktowych, jak np. obwody przekaźników X_1 i X_2. Z tych obwodów napięcie zasilające może się dostać z przewodu *10* na przewód *20* jedynie na skutek przypadkowego naciśnięcia przycisku (np. G_1 lub G_2). Aby jednak mogło to spowodować zakłócenia w pracy układu podczas sterowania automatycznego, musiałby zostać jednocześnie naciśnięty jeszcze inny przycisk przeznaczony do sterowania ręcznego. Przypadkowego naciśnięcia dwóch przycisków jednocześnie można nie brać pod uwagę zwłaszcza, że z reguły przyciski załączające są zaopatrzone w guziki nie wystające nad powierzchnię pulpitu, a więc nawet położenie na pulpicie jakiegoś przedmiotu nie może spowodować wciśnięcia przycisku.

Niepożądane przeniesienie napięcia zasilającego z przewodu *20* na przewód *10* podczas sterowania ręcznego występuje, jeżeli podczas sterowania ręcznego może być zamknięta ta część obwodu wzbudzenia przekaźnika, która jest przewidziana wyłącznie do pracy w cyklu automatycznym (te części obwodów na omawianym schemacie zostały oznaczone literą Γ ze wskaźnikiem cyfrowym danego przekaźnika). Jeżeli na przykład w pewnym momencie podczas sterowania ręcznego jest zamknięty obwód Γ_1, to naciśnięcie przycisku G_1 przerzuci napięcie zasilające na przewód *10*, przeznaczony do zasilania obwodów sterowania automatycznego. Jeżeli w dodatku w tym samym czasie jest zamknięty obwód sterowania automatycznego innego przekaźnika (gdy będzie, na przykład $\Gamma_2\,\Phi_2 = 1$, to wtedy wbrew zamierzeniom zostanie załączony również przekaźnik X_2. Aby uchronić się przed taką ewentualnością należy obwody sterowania automatycznego, których człony Γ mogą być zamknięte podczas sterowania ręcznego, oddzielić od przewodu *10* zestykiem stale otwartym podczas sterowania ręcznego.

Realizacja takich blokad wymaga większej liczby zestyków, otwartych w jednym położeniu przełącznika *5S*, zamkniętych zaś w drugim. Zmusza to zwykle do stosowania dodatkowych przekaźników Q_{10} i Q_{20} (rys. 198b), z których jeden jest załączony, gdy układ jest przełączony na sterowanie automatyczne, drugi zaś — gdy na ręczne. Na schemacie (rys. 198b) uwzględnione są wyżej omówione blokady z pewnymi wariantami, wymagającymi krótkiego wyjaśnienia.

a) Człony Γ_1 i Γ_2 zostały oddzielone od przewodu *10* nie dwoma, lecz tylko jednym wspólnym zestykiem q_{10}. Taka redukcja zestyków q_{10} jest dopuszczalna w wypadku, gdy przynajmniej podczas sterowania ręcznego jest zawsze spełniony warunek $\Gamma_1\,\Gamma_2 = 0$ (tak jest np. w obwodach P_1 i P_2 na rys. 189).

b) Człon Γ_4 nie został odłączony od przewodu *10* zestykiem q_{10}. Jest to dopuszczalne, jeżeli struktura członu Γ_4 zapewnia, że podczas sterowania ręcznego pozostaje on stale otwarty.

c) Każdy z obwodów sterowania ręcznego przekaźników X_3 i X_4 jest oddzielony od przewodu *20* odrębnym zestykiem q_{20}. Te dwa zestyki można zredukować do jednego tylko w wypadku, gdy człony $\Gamma_3\,\Gamma_4$ są wyłącznie członami załączającymi, człony zaś Φ_3 i Φ_4 — członami wyłączającymi przekaźników X_3 i X_4.

d) Zestyki q_{10} mogą być oczywiście połączone albo z przewodem *10*, albo też z przewodem *1*. Podobnie zestyki q_{20} mogą być połączone albo z przewodem *20*, albo — *10*.

e) Każdy zestyk q_{10} w omawianym schemacie może być zastąpiony przez zestyk $\bar{q}_{20}$ i odwrotnie zestyk q_{20} można zastąpić zestykiem $\bar{q}_{10}$. W mniej rozbudowanych układach może więc wystarczyć tylko jeden przekaźnik blokady. Jeżeli jednak jeden przekaźnik ma za mało zestyków, to lepiej jest zastosować dwa przekaźniki w układzie, jak na rys. 198b, stan wzbudzenia jednego przekaźnika jest negacją stanu wzbudzenia drugiego, aniżeli wprowadzić dwa przekaźniki połączone równolegle (np. dwa przekaźniki Q_{10}).

Do omówionych wyżej zagadnień rozdzielania obwodów sterowania automatycznego i ręcznego nie będziemy już powracali przy omawianiu uzupełnień do opracowanych fragmentów projektowanego układu.

Przechodzimy teraz do uzupełniania obwodów opracowanych w punkcie 2.2.

Założenia przewidują, że przy sterowaniu ręcznym posuwów stołu i sań do załączania sprzęgieł kierunkowych posuwu stołu (sprzęgieł V_1 i V_2) będą wykorzystane przyciski B_1 i B_2, uruchamiające pracę w cyklu automatycznym. Przy ustawianiu ręcznym można będzie załączyć posuw roboczy również przy zatrzymanym wrzecionie. Natomiast załączanie sprzęgła szybkiego posuwu V_5 będzie skojarzone z załączaniem silnika posuwu *1M*, jak to zostało omówione przy opisie przełącznika selekcyjnego *4S*.

Z powyższych wyjaśnień wynika, że w obwodzie wzbudzenia sprzęgieł V_1 i V_2 trzeba będzie równolegle z zestykiem q_0 umieścić zestyk q_{20}, aby można było załączać posuw przy sterowaniu ręcznym. Zestyk ten został uwzględniony w schemacie całego układu (rys. 203).

Założenia ręcznego sterowania posuwami przewidują, że naciśnięcie odpowiedniego przycisku „start” załącza posuw roboczy ciągły, albo też posuw szybki dorywczy (trwający tylko przez czas naciśnięcia przycisku). Przyciski uruchamiające posuw oznaczmy literą B ze wskaźnikiem takim, jaki jest w oznaczeniu odpowiedniego sprzęgła czy przekaźnika (np. B_3 uruchamia posuw sań do tyłu, powodując załączenie przekaźnika Q_3 i sprzęgła V_3) ogólnie zaś przycisk załączający pewien posuw będzie oznaczony przez B_i. Podany wyżej warunek załączania posuwu roboczego ciągłego (trwającego do czasu naciśnięcia przycisku „stop”) oznacza, że w obwodach ręcznego sterowania posuwów należy przewidzieć człon wyłączania warunkowego. Dla wszystkich posuwów członem takim będzie zestyk rozwierny przekaźnika szybkiego posuwu Q_5. A więc obwód sterowania ręcznego przekaźnika posuwu stołu Q_i powinien odpowiadać wyrażeniu strukturalnemu $Q_i = (b_i + \bar{q}_5\, q_i)\, \bar{b}_{i0}\, \bar{k}_i$, gdzie $\bar{b}_{i0}$ oznacza zestyk przycisku wyłączającego posuw, $\bar{k}_1$ zaś — zestyk rozwierny odpowiedniego drogowego łącznika krańcowego.

Uzupełniając obwody wzbudzenia przekaźników posuwów (Q_1 do Q_4) obwodami przeznaczonymi do sterowania ręcznego należy pamiętać że zestyki b_1 i b_2 umieszczone w obwodach wzbudzenia przekaźników Q_1 i Q_2 powinny zapewniać załączenie tych przekaźników zarówno przy sterowaniu ręcznym, jak i podczas uruchamiania pracy w jednym z cykli automatycznych. Inaczej jest z zestykami b_3 i b_4, które powinny załączać odpowiedni przekaźnik (Q_3 lub Q_4) jedynie podczas sterowania ręcznego. Prócz tego podczas sterowania automatycznego łączniki krańcowe K_1, K_2, K_7 i K_9 powodują wyłączenie odpowiedniego przekaźnika posuwu i załączenie innego przekaźnika posuwu; przy sterowaniu ręcznym łączniki te powinny jedynie wyłączać odpowiedni przekaźnik, nie załączając innego.

Te wszystkie różnice w pracy obwodów sterowania posuwami powodują, że dla uniknięcia niepożądanego przedostawania się sygnałów z obwodów sterowania automatycznego do obwodów sterowania ręcznego i odwrotnie należy zastosować po dwa zestyki przekaźników Q_{10} i Q_{20}. Schemat obwodów wzbudzenia

przekaźników Q_1 do Q_4 opracowany z uwzględnieniem podanych wyżej spostrzeżeń przedstawiono na rys. 199.

Przed uzupełnieniem przekaźnika Q_5 oraz styczników P_1 i P_2 w obwody sterowania ręcznego trzeba uwzględnić warunek założeń, wymagający, aby obsługujący obrabiarkę miał możność przełączenia w cyklu automatycznym silnika *1M* z większych obrotów na mniejsze również w cyklach automatycznych. Do tego celu należy wykorzystać przełącznik selekcyjny *4S*. Gdy jest on ustawiony w położeniu *1* lub *3* (wolniejszy posuw roboczy, albo wolniejszy posuw szybki, wtedy naciśnięcie odpowiedniego przycisku, albo przestawienie odpowiedniego dwupołożeniowego przełącznika dźwigienkowego powinno w cyklu automatycznym wyłączyć stycznik P_2 i załączyć stycznik P_1. Obwód załączający stycznik P_1 będzie więc odpowiadał wyrażeniu strukturalnemu $4s_{1,3}, q_{11}$, gdzie przez q_{11} oznaczono zestyk przełącznika dźwigienkowego. Ten sam sygnał powinien spowodować przerwanie obwodu wzbudzenia stycznika P_2, w obwód P_2 trzeba więc włączyć człon wyłączający o wyrażeniu strukturalnym $\overline{4s_{1,3}}+\bar{q}_{11} = 4s_{2,4}+\overline{\bar{q}_{11}}$ będącym negacją wyrażenia poprzedniego. Te dodatkowe obwody sterowania w cyklu automatycznym pokazano na rys. 200a, gdzie nie interesujące nas w danej chwili części obwodów wzbudzenia styczników przedstawiono w postaci prostokątów oznaczonych literami Γ_1 i Γ_2.

Rys. 199. Schemat obwodów sterowania ręcznego posuwami stołu i sań

Uzupełnienie sterowania silnikiem *1M* w obwody sterowania ręcznego będzie polegało na doprowadzeniu do P_1 sygnału $4s_{1,3}\,q_{11}\,q_{20}$, do P_2 zaś — sygnału $4s_{2,4}\,q_{11}\,q_{20}$. Ponieważ $q_{11}\,(4s_{2,4}+\overline{\bar{q}_{11}}) = q_{11}\,4s_{2,4}$ w obwodzie P_2 można wykorzystać $4s_{2,4}$ wprowadzony poprzednio. Zmiany te podano na rysunku 200b, na którym zamiast stycznika P_2 zostały pokazane dwa połączone równolegle styczniki P_{21} i P_{22}, niezbędne dla załączenia silnika *1M* na większe obroty. Obwody styczników uzupełniono dodatkowo zestykiem $\bar{\vartheta}$ przekaźnika termicznego. Wreszcie w obwodzie ręcznego załączania wolniejszych obrotów podczas pracy w cyklu automatycznym umieszczono zestyk q_{10}. Brak tego zestyku powodowałby, że w położeniu przełącznika *5S*, odpowiadającemu sterowaniu ręcznemu, napięcie zasilające byłoby doprowadzone do członów Γ_1 i Γ_2 bez względu na to czy $q_{11} = 1$, czy też $q_{11} = 0$,

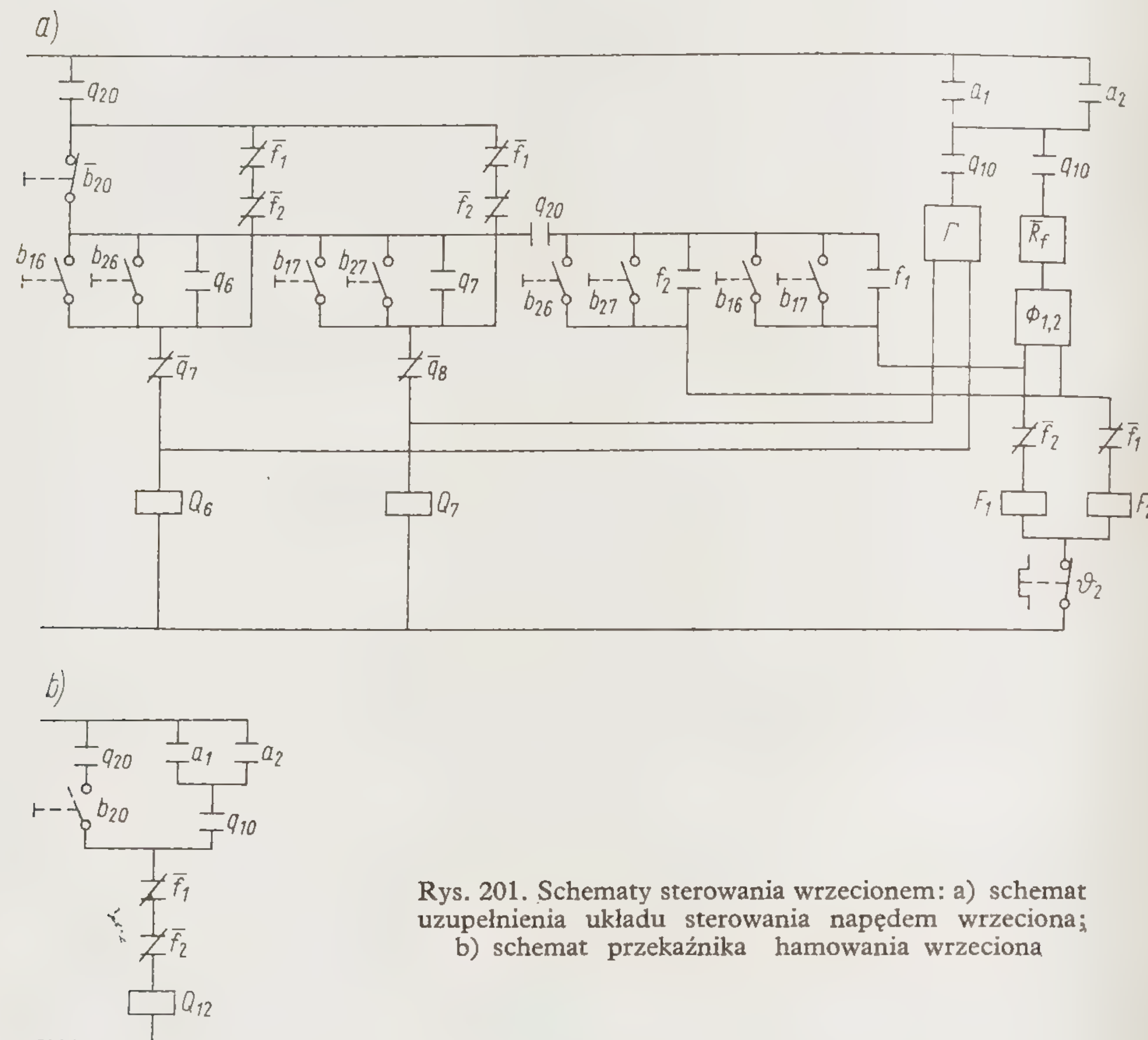
Przy uzupełnieniu obwodu przekaźnika Q_5 do wymagań sterowania ręcznego należy wziąć pod uwagę, że jeśli przełącznik selekcyjny *4S* jest ustawiony w położeniu trzecim lub czwartym (szybki posuw) to łączniki K_3 i K_4 nie powinny wyłączać przekaźnika szybkiego posuwu Q_5. Wynika stąd, że zestyk r_1 powinien się znaleźć w gałęzi sterowania automatycznego, natomiast człon $\bar{R}_2$ powinien wyłączać szybki posuw pod koniec przestawiania sań we wszystkich rodzajach sterowania. Warunki te spełnia takie połączenie gałęzi sterowania ręcznego przekaźnika Q_5, jakie pokazano na rys. 200b.

Rys. 200. Schemat uzupełnień układu sterowania silnikiem napędu posuwów i sprzęgłem szybkiego posuwu: a) uzupełnienia obwodów wzbudzenia styczników P_1 i P_2 w obwody ręcznego zmniejszania prędkości posuwów w cyklu automatycznym; b) schemat uzupełnień obwodami sterowania ręcznego

Przystępujemy z kolei do uzupełnienia obwodów sterowania napędem wrzeciona, obejmujących obwody wzbudzenia przekaźników Q_6 i Q_7 oraz styczników F_1 i F_2. Przy sterowaniu ręcznym będą potrzebne cztery przyciski do załączania czterech kombinacji kierunku obrotów i prędkości obrotowej wrzeciona oraz jeden przycisk „stop". Przyciski załączające oznaczymy literą *B* z dwucyfrowym wskaźnikiem. Pierwsza cyfra wskaźnika odpowiada wskaźnikowi stycznika kierunku obrotów, druga — wskaźnikowi przekaźnika i sprzęgła prędkości obrotowej wrzeciona (np. B_{26} oznacza przycisk załączający stycznik F_2 i przekaźnik Q_6, a więc wolne obroty wrzeciona w lewo). Przycisk „stop obroty wrzeciona" oznaczymy przez B_{20}.

Na rysunku 201a podano z lewej strony schemat obwodów sterowania ręcznego przekaźnikami Q_6 i Q_7. Aby przy sterowaniu ręcznym uzyskać hamowanie wrzeciona przez równoczesne załączenie obu przekaźników, a tym samym i sprzęgieł V_6 i V_7, trzeba by obwody przekaźników uzupełnić liniami łączeń $\bar{f}_1\,\bar{f}_2$ jak przedstawiono na omawianym schemacie. Rozwiązanie takie ma jednak tę wadę, że przy sterowaniu ręcznym wrzeciono byłoby zahamowane przez cały czas wy-

łączenia jego napędu. Ponieważ jednak nie wystarczy zestyków pomocniczych styczników F_2 i F_1 dla potrzeb układu i trzeba wprowadzić przekaźnik pośredniczący, zastosujemy przekaźnik Q_{12} (według schematu rys. 201b). Obwód wzbudzenia tego przekaźnika ustalamy na podstawie następujących założeń: a) w cyklu automatycznym przekaźnik Q_{12} będzie załączony po wyłączeniu napędu wrzeciona (gdy $f_1+f_2=0$), wyłączany zaś jednocześnie z zakończeniem cyklu (gdy $a_1+a_2=0$) b) przy sterowaniu ręcznym przekaźnik Q_{12} będzie załączony po wyłączeniu silnika *2M* dopóty, dopóki jest naciśnięty przycisk „stop obroty wrzeciona", obwód więc sterowania ręcznego tego przekaźnika będzie odpowiadał wyrażeniu strukturalnemu $q_{20}\, b_{20} \bar{f}_1 \bar{f}_1$. Pełny obwód (dla sterowania ręcznego i w cyklach automatycznych) wzbudzenie przekaźnika Q_{12} podano na rys. 201b

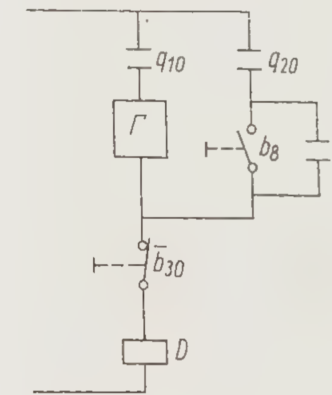


Rys. 201. Schematy sterowania wrzecionem: a) schemat uzupełnienia układu sterowania napędem wrzeciona; b) schemat przekaźnika hamowania wrzeciona

W środkowej i prawej części schematu (rys. 201a) znajdują się obwody sterowania ręcznego styczników F_1 i F_2. W tej części wspomnianych obwodów, która odpowiada sterowaniu automatycznemu, prostokąt R_f oznacza człon wyłączający (rys. 192) prostokąt zaś $\Phi_{1,2}$ — te części obwodów wzbudzenia styczników, które są zawarte między członem R_f a zestykami $\bar{f}_1$ i $\bar{f}_2$.

Obwody wzbudzenia przekaźników Q_6 i Q_7 podane na rysunku 194 nie ulegają zmianie, jedynie dwa zestyki $\bar{f}_1$ i $\bar{f}_2$ zostaną obecnie zastąpione przez jeden zestyk q_{12}. Obwody te na rys. 201a przedstawiono w postaci prostokąta oznaczonego literą Γ. Proponuje się czytelnikowi przeanalizowanie, z jakiego powodu w omawianym schemacie obwody Q_{12}, Γ i R_f zostały porozdzielane zestykami q_{10}.

Do ręcznego sterowania doskokiem i odskokiem wrzeciennika przewidziane są dwa przyciski B_8 (załączanie doskoku) i B_{30} (wyłączanie doskoku). Za pomocą przycisku B_{30} obsługujący powinien mieć możność wyłączenia doskoku również podczas pracy w cyklu automatycznym. Do obwodu wzbudzenia przekaźnika D (rys. 195b) trzeba więc dodać obwód załączania przy sterowaniu ręcznym q_{20} $(b_8+ +d)$, natomiast zestyk rozwierny przycisku B_{30} umieścić w gałęzi obwodu wspólnej dla sterowania ręcznego i automatycznego (rys. 202).



Rys. 202. Uzupełnienie obwodu wzbudzenia przekaźnika doskoku wrzeciennika D w obwody i elementy sterowania ręcznego

Po zakończeniu uzupełniania obwodów, których pierwsza wersja została opracowana w punkcie 2.2, przystępujemy do rysowania pełnego schematu zaprojektowanego układu sterowania. Przy tej pracy należy w miarę możności przeprowadzić redukcję powtarzających się zestyków przez odpowiednie łączenie poszczególnych obwodów i zestyków w obwodach. Uzupełniamy następnie schemat w nie opracowane dotychczas elementarnie proste obwody, jak np. obwód sterowania silnikiem pompy hydraulicznej. Trzeba również uzupełnić schemat w przycisk „stop awaryjne" i w blokadę, uzależniającą pracę układu sterowania od tego, czy w układzie hydraulicznym panuje odpowiednio wysokie ciśnienie (zestyk czujnika ciśnieniowego *PC*).

Do realizacji układ wymaga znacznej liczby zestyków, których stan zależy od stanu odpowiednich łączników drogowych. Zestyki te oznaczaliśmy dotychczas symbolami literowymi odpowiednich łączników drogowych. Jeżeli potrzeba więcej niż dwóch zestyków danego łącznika drogowego K_n, to należy zastosować przekaźnik pośredniczący $Y_n = k_n$. Przekaźniki A_1, A_2, W_0, W, X_0, X oraz przekaźnik Y_5, służący do zwielokrotnienia zestyków łącznika drogowego K_5, nie są wykorzystywane przy sterowaniu ręcznym. Wykorzystamy to, zasilając te przekaźniki przewodem *10*, przy sterowaniu ręcznym będą więc one wyłączone, a dzięki temu występujące w układach ich zestyki zwierne będą spełniały dodatkowo podobną rolę, jak zestyki q_{10} w schemacie przedstawionym na rys. 198b.

Pełny schemat obwodów sterowania przedstawiono na rys. 203a, a obwodów mocy — na rys. 203b (patrz rysunek na końcu książki). Schematy te zostały opracowane graficznie w sposób, zalecany przez C.E.I. i przez polską normę (w opracowaniu). U góry każdego schematu są podane słowne wyjaśnienia przeznaczenia poszczególnych obwodów układu bezpośrednio pod tymi objaśnieniami znajdują się tak zwane numery adresowe schematu, ułatwiające odnalezienie zestyków łączników

układu. W tym celu pod symbolem cewki każdego przekaźnika i stycznika wpisuje się numery adresowe zestyków danego łącznika elektromagnetycznego; numery adresowe zestyków rozwiernych oznaczono kreską u góry, numery adresowe zestyków zwiernych podano bez kreski. Jeżeli w układzie występują przyciski sterownicze lub łączniki drogowe wyposażone w więcej niż jeden zestyk, to pod symbolem każdego zestyku takiego łącznika wypisuje się numer adresowy drugiego zestyku (lub numery adresowe pozostałych zestyków danego łącznika). Tak np. pod zestykiem b_1 w obwodzie wzbudzenia przekaźnika Q_5 podano numer adresowy *48* drugiego zestyku tegoż przycisku, znajdującego się w obwodzie przekaźnika Q_1; pod zestykiem b_1 w obwodzie przekaźnika Q_1 wpisano numer adresowy *25* zestyku b_1 w obwodzie przekaźnika Q_5.

W końcowej postaci schematu zestyki przełączników selekcyjnych oznaczone są odmiennie niż w etapie projektowania obwodów. Podczas projektowania obwodów stosowano w schematach fragmentarycznych bardzo wygodną w tym etapie zasadę oznaczania literowych symboli przełącznika selekcyjnego wskaźnikami cyfrowymi, odpowiadającymi tym numerom położenia przełącznika, w których dany jego zestyk jest zamknięty (np. zestyk $1s_{2,5}$ oznaczał zestyk przełącznika *1S*, zamknięty w położeniu drugim i piątym). W pełnym schemacie powyższa zasada nie może być zachowana, ponieważ występowałyby wtedy po dwa i więcej zestyków o jednakowym oznaczeniu (np. dwa zestyki $4s_{1,3}$ na rys. 200b).

W końcowej postaci schematów stosuje się więc wskaźniki liczbowe, określające kolejny numer zestyku danego przełącznika selekcyjnego. Z tabelek, podanych na schemacie odczytuje się, który zestyk jest zamknięty w określonym położeniu przełącznika oraz jaki jest numer adresowy każdego zestyku w schemacie. We wspomnianych tabelkach programu łączeń stan zestyków oznacza się przez 0 i 1. Jeżeli zamknięcie pewnego zestyku w określonym położeniu przełącznika nie jest potrzebne, lecz jest dopuszczalne, a pozwala na wykorzystanie w selekcyjnym przełączniku krzywkowym obu zestyków jednego segmentu, to w odpowiednim polu tabelki programu łączeń przełącznika selekcyjnego wpisuje się symbol stanu obojętnego Ø.

W końcowej postaci schematów stosuje się cyfrowo-literowe oznaczenia aparatów elektrycznych, przy czym aparaty tego samego rodzaju są oznaczane taką samą literą, albo taką samą grupą dwóch liter, a liczba poprzedzająca oznaczenie literowe odpowiada kolejnemu numerowi danego rodzaju aparatu, według jego położenia na schemacie obwodowym (licząc od lewej ku prawej). Tak np. 14CA i 20CA będą oznaczały dwa przekaźniki, z których drugi 20CA znajduje się na schemacie bardziej na prawo od przekaźnika 14CA. Przy zestykach przekaźników (styczników) podaje się takie samo oznaczenie jak i przy oznaczeniu cewki, a więc duże litery, bez kresek u góry.

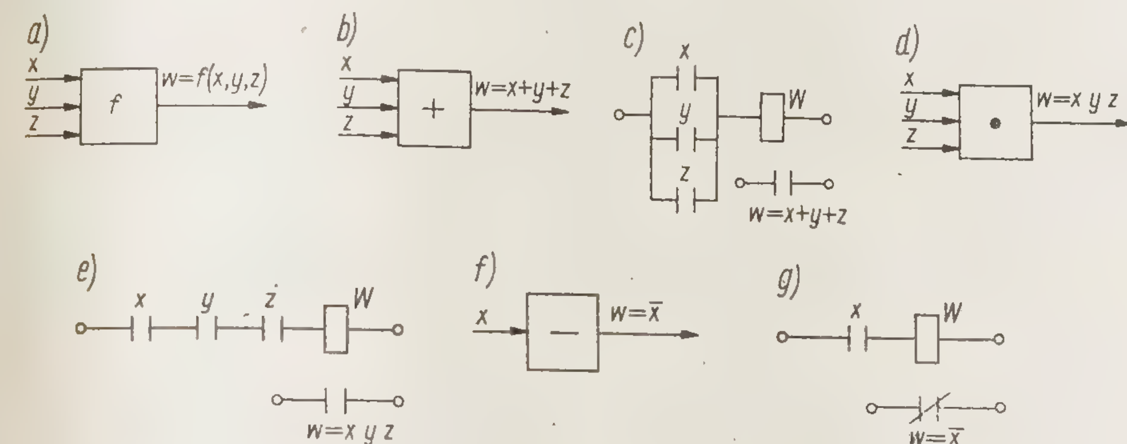
Podane w poprzednim akapicie zasady oznaczania łączników i ich zestyków nie zostały uwzględnione na rys. 203, na którym dla łatwiejszego porównania pełnego schematu z podanymi uprzednio schematami fragmentów układu pozostawiono takie oznaczenia, jakie były używane przy projektowaniu układu.

Rozdział dwunasty

Układy sterowania ze statycznymi elementami logicznymi

1. Statyczne elementy logiczne

Elementem, albo funktorem logicznym nazywa się element układu sterowania, stanowiący zamkniętą całość konstrukcyjną i odrębną jednostkę magazynową, wyposażony w kilka wejść (x, y, z — rys. 204a) i zwykle jedno wyjście w, którego stan jest określoną funkcją logiczną stanu wejść $w = f(x, y, z \ldots)$.



Rys. 204. Funktory logiczne i odpowiadające im obwody wzbudzenia przekaźników elektromagnetycznych

Ze statycznych elementów logicznych można montować wszelkiego rodzaju obwody jednotaktowe i wielotaktowe. Obwody wielotaktowe mogą być projektowane i wykonywane w dwóch odmianach, różniących się rodzajem sygnałów wejściowych. W odmianie pierwszej obwody i układy sterowania reagują wyłącznie na poziom (wartość) sygnału 0 i 1. Obwody te określa się jako pracujące w technice potencjałowej, nazywając je w skrócie obwodami potencjałowymi w odróżnieniu od obwodów i układów pracujących w technice impulsowej (obwodów impulsowych). Obwody i układy pracujące w technice impulsowej reagują nie na poziom (wartość) sygnałów wejściowych, lecz na szybkość zmiany tego poziomu, a więc na pochodną wartości sygnału względem czasu.

Potencjałowe obwody sterowania zrealizowane przy użyciu statycznych elementów logicznych odpowiadają całkowicie obwodom realizowanym przy użyciu przekaźników elektromagnetycznych. Podstawowe podobieństwa: wspólna metoda syntezy, dwuwartościowość sygnałów i analogia przebiegu przetwarzania sygnałów przez oba rodzaje układów sterowania spowodowały, że, jak to podano we wstępie, pojęcie układów sterowania przekaźnikowego rozciąga się również na układy, realizowane przy użyciu elementów logicznych. Różne są jednak kryteria

minimalizacji dla obu rodzajów układów; w przypadku układów sterowania realizowanych w technice elementów logicznych należy dążyć do tego, aby w opisujących układ wyrażeniach strukturalnych występowało jak najmniej różnych podgrup (zerowych i jedynkowych), ponieważ każdej odmiennej podgrupie odpowiada oddzielny element logiczny.

Z uwagi na podaną wyżej pełną analogię między tymi dwoma rodzajami układów sterowania zostaną w tym rozdziale omówione w dużym skrócie podstawowe elementy logiczne i zasady ich wykorzystywania. Temat będzie ograniczony wyłącznie do statycznych elementów logicznych i do budowanych z nich obwodów pracujących w technice potencjałowej. Nie będą natomiast omawiane elementy i obwody pracujące w technice impulsowej, ponieważ metody syntezy takich obwodów różnią się od omówionych w tej książce metod syntezy wielotaktowych obwodów potencjałowych.

2. Podstawowe elementy logiczne

Rodzaj funkcji f, określającej wartość sygnału wyjściowego w zależności od wartości sygnałów wejściowych, zależy od wewnętrznej budowy danego elementu.

Najczęściej produkowane są elementy w których sygnał wyjściowy jest jedną z podstawowych funkcji logicznych stanu wejść alternatywną (sumą), koniunkcją (iloczynem), negacją. Rzadziej można spotkać w fabrycznych zestawach elementów logicznych funktory, realizujące inne funkcje, jak np. funkcję dyzjunkcji $W = \bar{x}y + x\bar{y}$.

W elemencie sumy (rys. 204b) wartość sygnału wyjściowego w jest alternatywą wartości sygnałów wejściowych x, y, z ... czyli $w = x+y+z+...$. Funktor sumy można przyrównać do wyposażonego w jeden zestyk zwierny przekaźnika W, którego obwód wzbudzenia jest utworzony przez zestyki x, y, z ... połączone równolegle (rys. 204c).

Element iloczynu (rys. 204d), w którym wartość sygnału wyjściowego jest koniunkcją wartości sygnałów wejściowych ($w = xyz...$) odpowiada jednozestykowemu przekaźnikowi W, którego obwód wzbudzenia jest utworzony przez zestyki x, y, z ..., połączone szeregowo (rys. 204e).

W jednowejściowym elemencie negacji (rys. 204f) wartość sygnału wyjściowego jest dopełnieniem (negacją) wartości sygnału wejściowego $w = \bar{x}$. Element taki odpowiada przekaźnikowi W, wyposażonemu tylko w jeden zestyk rozwierny, którego stan jest negacją stanu zestyku x, wprowadzającego do obwodu przekaźnika sygnał wejściowy (rys. 204g).

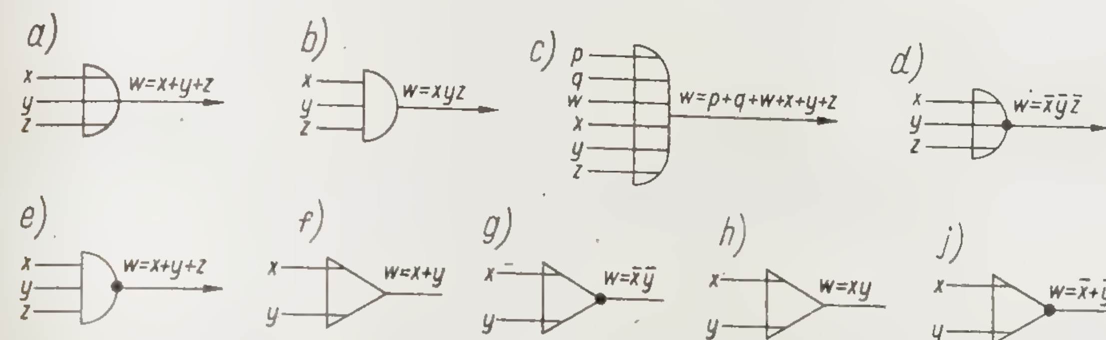
Wielowejściowe elementy negacji dzielą się na dwa rodzaje: a) elementy, w których sygnał wejściowy w jest negacją sumy wartości sygnałów wejściowych (x, y, z ...) czyli $w = (\overline{x+y+z+...}) = \bar{x}\bar{y}\bar{z}...$; b) elementy, w których sygnał wejściowy jest negacją iloczynu wartości sygnałów wejściowych $w = (\overline{xyz...}) = \bar{x}+\bar{y}+\bar{z}+...$ Elementy pierwszego rodzaju (realizujące funkcję $w = \bar{x}\bar{y}\bar{z}$) są nazywane elementami NOR. Nazwa ta pochodzi od angielskiego określenia „not or” (nie albo) i wypływa z określania elementów sumy jako elementów ALBO (OR)

Elementy drugiego rodzaju (realizujące funkcję $w = \bar{x}+y+\bar{z}$) są nazywane elementami NAND, od angielskiego określenia „Not and” (nie i), wynikającego z określania elementów iloczynu jako elementów I (AND).

Elementy logiczne są zwykle tak wykonywane, że nie doprowadzenie do któregokolwiek z wejść sygnału z zewnątrz jest równoznaczne z doprowadzeniem do tego wejścia sygnału 0. Dzięki temu element NOR (negacja sumy), w którym

wykorzystano tylko jedno wejście, staje się jednowejściowym elementem negacji. Aby można było wykorzystać element NAND jako jednowejściowy element negacji, trzeba do wszystkich jego nie wykorzystanych wejść doprowadzić na stałe sygnał 1.

Na rysunku 204 elementy logiczne zostały przedstawione za pomocą prostokątów z podanym symbolem funkcji, realizowanej przez dany element. Coraz powszechniej używa się jednak symboli takich, jak podane na rys. 205: symbol elementu ma kształt półkola, albo prostokąta z zaokrąglonymi narożami. Doprowadzenie linii sygnałów poza średnicę półkola aż do jego obwodu (rys. 205a, c i d) oznacza, że jest to element sumy logicznej, doprowadzenie linii sygnałów tylko do średnicy półkola (rys. 205b i e) oznacza, że jest to element iloczynu. Kropka, umieszczona na początku linii sygnału wyjściowego, oznacza, że sygnał ten jest negacją funkcji sygnału wejściowego. Element przedstawiony na rys. 205d jest więc elementem NOR, element rys. 205e jest elementem NAND. Podawanie opisów literowych funkcji danego elementu nie jest konieczne, a na rys. 205 podano te opisy jedynie dla wygody czytelnika.



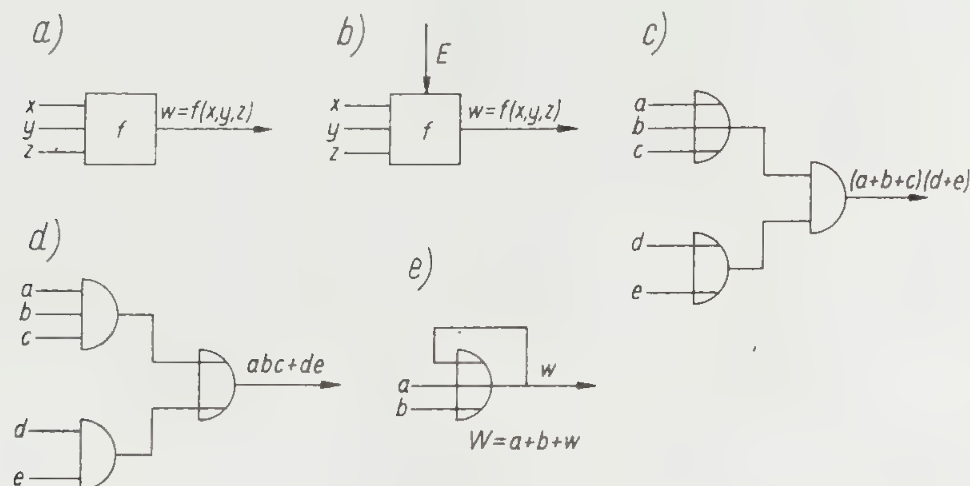
Rys. 205. Symbole elementów logicznych: a) element sumy; b) elemet iloczynu; c) wielowejściowy element sumy; d) element negacji sumy NOR; e) element negacji iloczynu NAND

3. Szczególne właściwości elementów logicznych

3.1. Elementy bierne i czynne

Elementy logiczne dzielą się na bierne i czynne. W elementach biernych sygnały wejściowe nie tylko wyznaczają jeden z dwóch poziomów sygnału wyjściowego, lecz są również jedynym źródłem energii wyjściowego sygnału (rys. 206a). W elementach czynnych sygnały wejściowe jedynie wyznaczają poziom sygnału wyjściowego, sterując energią, dostarczaną do elementu oddzielnym kanałem (rys. 206b). Poziom energetyczny sygnału wyjściowego w elemencie biernym jest więc zawsze niższy od poziomu sygnałów wejściowych. Dlatego też nie można zmontować układu sterowania z samych tylko elementów biernych, które z reguły są wykorzystywane jako elementy wejściowe do elementów czynnych. Dla przykładu na rysunku 206c podano połączenie dwóch elementów biernych sumy logicznej i czynnego elementu iloczynu, dające na wyjściu iloczyn sum, na rys. 206d wyjścia dwóch biernych elementów iloczynu połączono z wejściami czynnego elementu sumy, otrzymując na wyjściu tego ostatniego sumę iloczynów. Bierne elementy sumy stosuje się również na wejściu do czynnego elementu sumy, aby zwiększyć liczbę wejść tego ostatniego. Podobnie dla zwiększenia liczby wejść czynnego elementu iloczynu stosuje się wejściowe bierne elementy iloczynu.

Poziom energetyczny sygnału wyjściowego w elemencie czynnym jest z reguły wyższy, niż sygnałów wejściowych tego elementu. Element czynny, podobnie jak przekaźnik elektromagnetyczny, wzmacnia sygnały wejściowe. Dzięki temu sygnał wyjściowy elementu czynnego może być doprowadzony, jako sygnał wejściowy do większej liczby innych elementów logicznych układu.



Rys. 206. Elementy czynne i bierne: a) element bierny; b) element czynny; c) zastosowanie biernych elementów sumy na wejściu do czynnego elementu iloczynu; d) zastosowanie biernych elementów iloczynu na wejściu do czynnego elementu sumy; e) element czynny w obwodzie pamięci

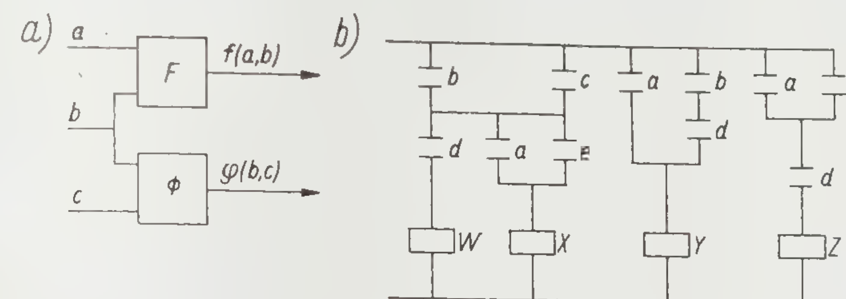
Do zrealizowania obwodu wielotaktowego konieczne jest zastosowanie elementu czynnego. Jeżeli element sumy W (rys. 206e) jest elementem czynnym, to można napisać $W=(a+b+w)$, gdzie przez analogię do przekaźników elektromagnetycznych litera W oznacza stan elementu, zdeterminowany przez stan wejść w danej chwili. W stanie nieustalonym (w takcie przejściowym) $W \neq w$, w takcie ustalonym $W=w$. Zdeterminowany stan ustalony elementu różny od stanu jego wyjścia w takcie przejściowym, znajduje wyraźny odpowiednik fizyczny w stanie obwodu wzbudzenia przekaźnika elektromagnetycznego; w elemencie logicznym brak jest takiego odpowiednika fizycznego. Dlatego też w wyrażeniach strukturalnych obwodów złożonych z elementów logicznych stosuje się zwykle inny sposób zapisu wyrażenia strukturalnego obwodu wielotaktowego, nie wprowadzający rozróżniania literami dużymi i małymi stanu elementu i stanu jego wyjścia. Mianowicie stosuje się oznaczanie sygnałów wykładnikami: $t+1$ dla oznaczenia stanu ustalonego i t dla stanu nieustalonego (taktu przejściowego). W takim zapisie wyrażenie $W=(a+b+w)$ będzie miało postać $w^{t+1}=(a+b+w)^t$. Ze względu na utrzymanie pewnej jednolitości w niniejszym rozdziale będzie używany taki sam sposób zapisu jak w przypadku przekaźników elektromagnetycznych.

Obwód przedstawiony na rys. 206e, zrealizowany przy użyciu biernego elementu sumy, będzie miał sygnał wyjściowy odpowiadający obwodowi jednotaktowemu $w=a+b$, ponieważ z chwilą zaniku obu sygnałów wejściowych sygnał wyjściowy zostanie pozbawiony dopływu energii.

3.2. Jednokierunkowość sygnałów wejściowych

Bardzo ważną cechą elementów logicznych jest jednokierunkowość ich sygnałów wejściowych, które przebiegają zawsze w kierunku do elementu, nigdy zaś — od elementu. W obwodach zestykowych taką jednokierunkowość można

uzyskać jedynie przy zasilaniu ich prądem stałym i stosowaniu blokad diodowych. Sygnały kierowane do elementów logicznych nie wymagają tego rodzaju rozdzielania. Tak np. w obwodzie złożonym z dwóch dowolnych elementów logicznych (rys. 207a) wyjście elementu F jest funkcją wyłącznie sygnałów a i b, wyjście zaś elementu Φ funkcją wyłącznie sygnałów b i c. Mimo, że sygnał b jest bez żadnych dodatkowych blokad przekazywany do obu elementów, a więc mimo bezpośredniego połączenia między sobą dwóch wejść obu elementów, sygnał a nie przedostanie się na wejście elementu Φ, sygnał zaś c — na wejście elementu F.



Rys. 207. Porównanie realizacji układu sterowania w technice przekaźnikowej i w technice elementów logicznych: a) zasada jednokierunkowości sygnałów wejściowych; b) układ sterowania z czterema przekaźnikami elektromagnetycznymi; c) ten sam układ zrealizowany przy użyciu elementów logicznych

W układach sterowania realizowanych przy użyciu elementów logicznych formowanie funkcji logicznych odbywa się wewnątrz elementów, podczas gdy w układach realizowanych przy użyciu przekaźników elektromagnetycznych funkcje logiczne są formowane w obwodach wzbudzenia, a więc na zewnątrz przekaźników.

Dzięki tym dwom cechom wystarcza, gdy każdy sygnał wejściowy układu złożony z elementów logicznych zostaje do układu doprowadzony jednym tylko kanałem, bez względu na to, czy wewnątrz układu sygnał ten zostanie podany na wejście jednego czy też kilku elementów logicznych. Natomiast w układach złożonych z przekaźników elektromagnetycznych najczęściej nie udaje się tak przeprowadzić minimalizacji wyrażeń strukturalnych i redukcji zestyków, aby każdy sygnał był do układu wprowadzany tylko jednym kanałem, a więc za pośrednictwem jednego tylko zestyku. Ilustruje to porównanie schematów (rys.

207b i c), odnoszące się do dwóch układów realizujących taką samą funkcję sterowania, lecz wykonanych w dwóch różnych technikach. W układzie złożonym z obwodów jednotaktowych i zrealizowanym przy użyciu przekaźników elektromagnetycznych (rys. 207b), trzeba zastosować po trzy zestyki a i d oraz po dwa zestyki b i e, a więc każdy z sygnałów wprowadzić do układu dwoma lub trzema kanałami. W układzie, zrealizowanym z elementów logicznych (rys. 207c), każdy z pięciu sygnałów wejściowych jest wprowadzony do układu tylko jednym kanałem. W wyrażeniach strukturalnych poszczególnych obwodów układu występuje dwukrotnie podgrupa zerowa $b+c$ i dwukrotnie podgrupa zerowa $a+e$. W technice przekaźnikowej można uzyskać redukcję tylko jednej z tych podgrup (na rys. 207b zredukowano jedną podgrupę $b+c$), druga podgrupa musi być powtórzona dwukrotnie. W technice elementów logicznych wystarczy użycie jednego tylko elementu sumy dla podgrupy $b+c$ i jednego dla podgrupy $a+e$ (elementy oznaczone na schemacie numerami *1* i *2*).

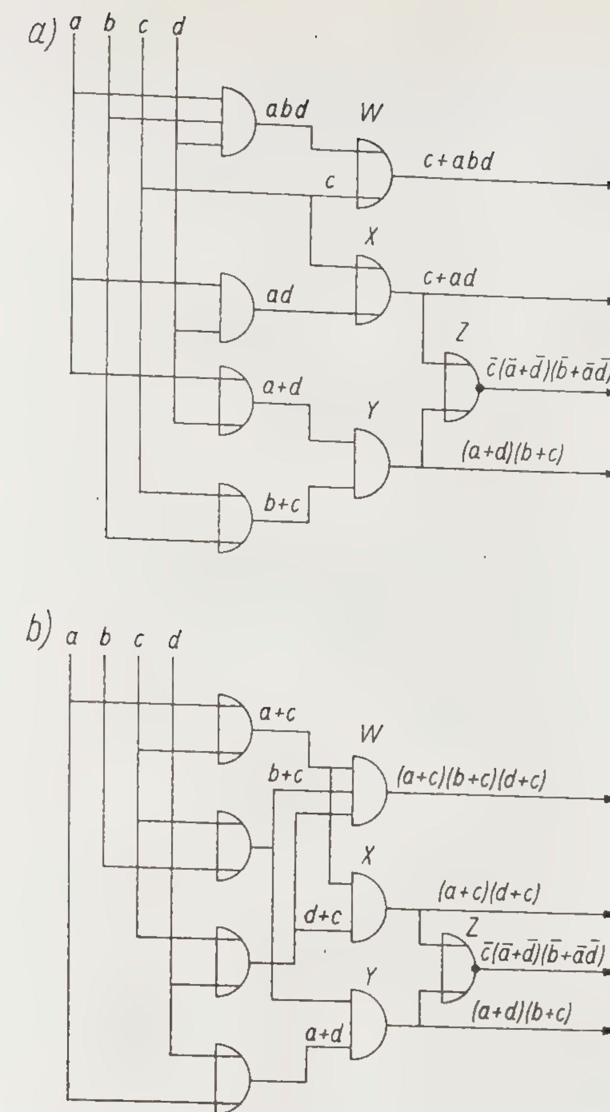
4. Opracowywanie schematów logicznych

W przypadkach, gdy przy realizacji układu sterowania dysponuje się elementami logicznymi trzech podstawowych funkcji sumy, iloczynu i negacji, opracowanie schematu logicznego na podstawie wyrażeń strukturalnych nie przedstawia trudności. Minimalizacja układu sterowania realizowanego w technice elementów logicznych polega nie na minimalizacji liter w wyrażeniach strukturalnych, lecz na takim przedstawieniu wyrażeń, aby w ich skład wchodziły w maksymalnym stopniu takie same podgrupy oraz ich negacje. Przykładem słuszności takiego stwierdzenia mogą być dwa schematy logiczne pokazane na rysunku 208, realizujące taki sam obwód sterowania z czterema wyjściami W, X, Y i Z, odpowiadającymi następującym funkcjom

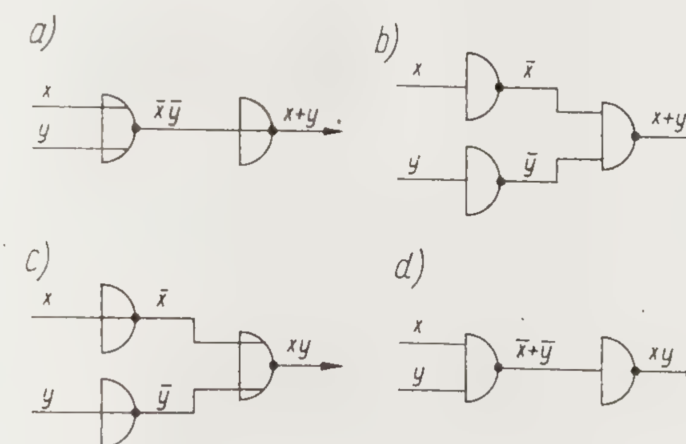
$$W = (a+c)(b+c)(d+c) = c+abd; \qquad X = (a+c)(d+c) = c+ad;$$
$$Y = (a+d)(b+c) \qquad Z = \bar{c}(\bar{a}+\bar{d})(\bar{b}+\overline{ad}).$$

Schemat na rys. 208a odpowiada zminimalizowanej postaci wyrażeń strukturalnych sygnałów wyjściowych a na rys. 208b nie zminimalizowanej. W obu jednak odmianach schematu logicznego wykorzystano związek między sygnałami wyjściowymi x, y i z. Jak bowiem można sprawdzić, $z = \bar{x}\bar{y} = \overline{(x+y)}$, dzięki czemu sygnał wyjściowy z otrzymuje się z elementu NOR, do którego doprowadzono sygnały x i y. Mimo, że wyrażenia strukturalne sygnałów wyjściowych zawiera przed minimalizacją 20 liter, po minimalizacji zaś 17 liter, nie wpłynęło to zupełnie na zmniejszenie liczby elementów logicznych w układzie. W obu odmianach występuje po osiem elementów. Przeoczenie natomiast wspomnianego związku między sygnałem z i sygnałami x i y spowodowałoby znaczne zwiększenie liczby elementów.

Wybór właściwej postaci wyrażeń strukturalnych odgrywa jeszcze większą rolę przy realizacji układu sterowania złożonego z elementów logicznych jednego tylko typu. Nie jest wprawdzie możliwe zrealizowanie dowolnej funkcji logicznej przy użyciu wyłącznie elementów sumy, albo wyłącznie elementów iloczynu, można natomiast zrealizować dowolną funkcję dysponując jedynie elementami NOR, albo elementami NAND. Na rys. 209a i c pokazano, jak za pomocą elementów NOR można uzyskać sumę i iloczyn dwóch (a więc również i większej liczby) sygnałów. Na rys. 209b przedstawiono realizację tych samych funkcji za pomocą elementów NAND.



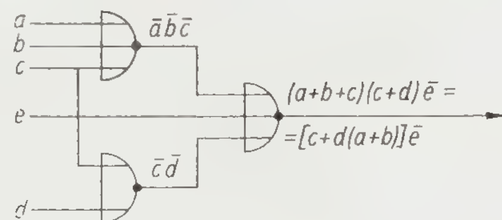
Rys. 208. Dwa warianty tego samego układu przetwarzania sygnałów



Rys. 209. Realizacja podstawowych funkcji logicznych za pomocą elementów negacji: a) funktor sumy logicznej, złożony z elementów NOR; b) funktor sumy logicznej, złożony z elementów NAND; c) funktor iloczynu logicznego, złożony z elementów NOR; d) funktor iloczynu logicznego, złożony z elementów NAND

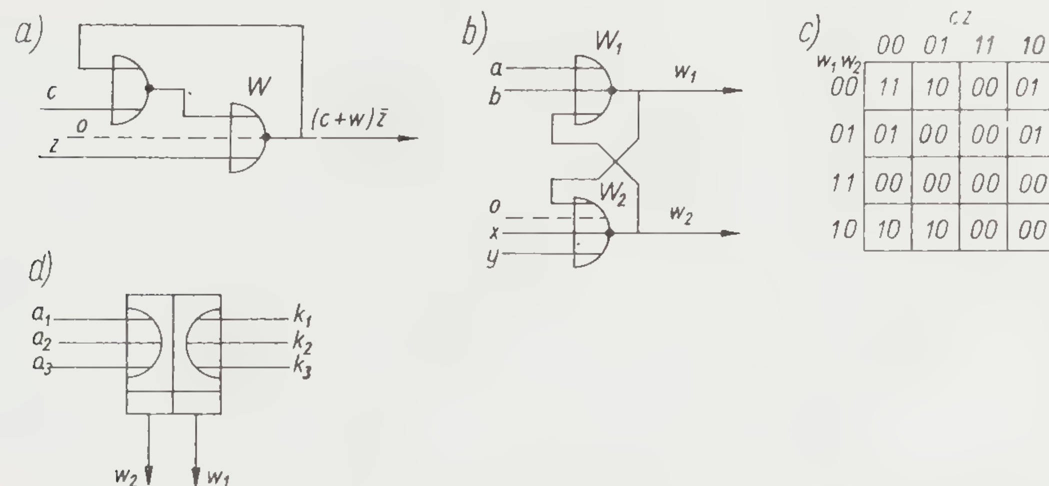
Wspomniana możliwość realizacji układu z jednego typu elementów logicznych przedstawia szereg zalet, zarówno dla producenta elementów, jak i dla wykonawcy i użytkownika układów. Jedyną wadą jest to, że tak wykonane układy wymagają większej liczby elementów jednego rodzaju, niż wymagałyby elementów realizujących wszystkie trzy funkcje podstawowe. Zaznacza się to szczególnie mocno w układach prostszych. Najpopularniejszą odmianą elementów logicznych są elementy półprzewodnikowe, a producenci tych elementów wykonują bogaty ich asortyment, jeżeli przeznaczają je dla automatyki maszynowej zwykłej, natomiast ograniczają się do typu NOR lub NAND, jeżeli elementy te przeznaczają dla układów sterowania numerycznego. W Polsce są produkowane jedynie zestawy oparte na elementach typu NOR.

Schemat logiczny układu realizowanego przy użyciu elementów „NOR" najlepiej jest opracowywać, wychodząc z wyrażeń strukturalnych, złożonych z podgrup zerowych. Sygnały, odpowiadające literom jednej podgrupy, doprowadza się na wejście jednego elementu NOR, a wyjście tego elementu na wejście elementu wyjściowego (rys. 210). W przypadku jednoliterowych podgrup zerowych ($\bar{e}$ na rys. 210) do elementu wyjściowego doprowadza się negację danego sygnału w omawianym schemacie sygnał e.



Rys. 210. Realizacja wyrażenia strukturalnego w układzie złożonym z elementów NOR

Na rysunku 211a przedstawiono zasadę realizowania obwodu wielotaktowego, odpowiadającego wyrażeniu strukturalnemu $W = (c+w)\bar{z}$, przy użyciu elementów NOR. Zespół dwóch elementów NOR wykonany jako jeden element



Rys. 211. Przerzutnik statyczny: a) obwód wielotaktowy, zrealizowany za pomocą dwóch elementów NOR; b) schemat przerzutnika statycznego; c) siatka wyjść przerzutnika statycznego; d) symbol przerzutnika statycznego

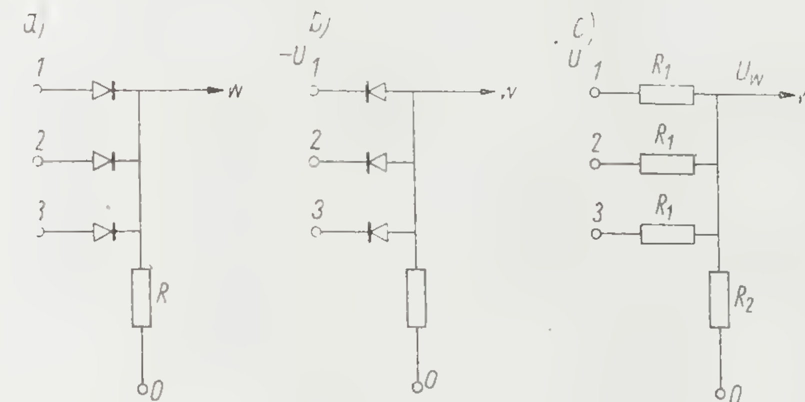
montażowy, wyposażony w wyjścia z obu elementów (rys. 211b) nosi nazwę przerzutnika statycznego. Przyjmując oznaczenia sygnałów, jak podano na rysunku można napisać $W_1 = \bar{a}\bar{b}\bar{w}_2$; $W_2 = \bar{x}\bar{y}\bar{w}_1$. Po oznaczeniu sumy sygnałów wejściowych elementu W_1 przez c, elementu W_2 przez z (a więc $a+b = c$; $ab = c$; $x+y = z$; $\bar{x}\bar{y} = \bar{z}$) sygnał W_2 będzie identyczny z sygnałem W (rys. 211a). Uważne prześledzenie schematu pozwala stwierdzić, że wyrażenia strukturalne W_1 i W_2 mają postać $W_1 = \bar{c}\bar{w}_2$; $W_2 = \bar{z}\bar{w}_1$

5. Półprzewodnikowe elementy logiczne

Spośród znacznej już liczby różnego rodzaju elementów logicznych zostaną poniżej omówione jedynie elementy półprzewodnikowe, jako najbardziej rozpowszechnione i najbardziej związane z techniką przekaźników elektromagnetycznych.

5.1. Elementy logiczne bierne

Na rysunku 212a przedstawiono schemat biernego elementu sumy. Sygnałowi 0 odpowiada tu potencjał 0, sygnałowi 1 ustalony potencjał U. Dopóki na żadne z wejść nie zostanie doprowadzony sygnał 1 (potencjał dodatni), dopóty na wyjściu w występuje potencjał 0,. Z chwilą doprowadzenia sygnału 1



Rys. 212. Bierne elementy sumy: a) i b) diodowe, c) rezystorowy

do jednego choćby wejścia, na wyjściu pojawia się potencjał U, a więc sygnał 1 (wobec małej rezystancji diody w kierunku przewodzenia w porównaniu z rezystancją opornika R można nie brać pod uwagę występującego na niej spadku napięcia).

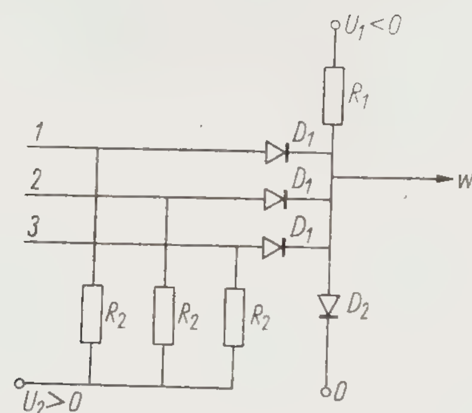
Można również przyjąć odmienne przyporządkowanie wartości sygnałów wartościom potencjałów, w którym sygnałowi 0 będzie odpowiadał wyższy, sygnałowi zaś 1 niższy potencjał. Takie przyporządkowanie nosi nazwę logiki negatywnej (logiki ujemnej), przyporządkowanie zaś poprzednie logiki pozytywnej (logiki dodatniej). Schemat biernego elementu sumy, przeznaczonego do pracy w logice negatywnej, przedstawiono na rys. 212b.

Na wejściu do czynnych półprzewodnikowych elementów logicznych stosuje się czasem rezystorowy element sumy, przedstawiony na rys. 212c. Jeżeli w takim elemencie jest wykorzystane tylko jedno wejście, to doprowadzenie do niego sygnału 1 (potencjału U) powoduje, że na wyjściu pojawia się sygnał 1, reprezentowany przez napięcie $U_w = \frac{R_2}{R_1+R_2}U < U$. Jeżeli zaś wykorzystuje się n wejść, to

w przypadku doprowadzenia sygnału 1 do jednego tylko wejścia, a do pozostałych — sygnału 0, na wyjściu pojawia się jeszcze niższy potencjał $U_w = \frac{R_2}{R_1+nR_2} U$, szybko malejący ze wzrostem n. Zjawisko to ogranicza w znacznym stopniu zakres stosowania rezystorowych elementów sumy i maksymalną liczbę sygnałów, jakie można sumować za pomocą jednego elementu ponieważ element musi przenosić i pojedynczy sygnał wejściowy. Ograniczenie to nie występuje przy diodowych elementach sumy.

Można udowodnić, że element sumy przeznaczony do pracy w jednej logice (np. negatywnej), staje się elementem iloczynu w drugiej logice. Ze względu jednak na konieczność doprowadzania potencjału, odpowiadającego sygnałowi 0, do tych wejść elementu iloczynu, do których w danej chwili nie jest doprowadzony sygnału 1, z reguły półprzewodnikowe elementy iloczynu różnią się nieco od elementów sumy, przeznaczonych do pracy w odmiennej logice.

Na rysunku 213 przedstawiono półprzewodnikowy bierny element iloczynu, pracujący w logice negatywnej. Do elementu tego, jak zaznaczono na rysunku, doprowadzone są ze źródła zasilania trzy napięcia: 0 odpowiadające stanowi 0 sygnałów, napięcie dodatnie U_2 oraz napięcie ujemne U_1, odpowiadające stanowi



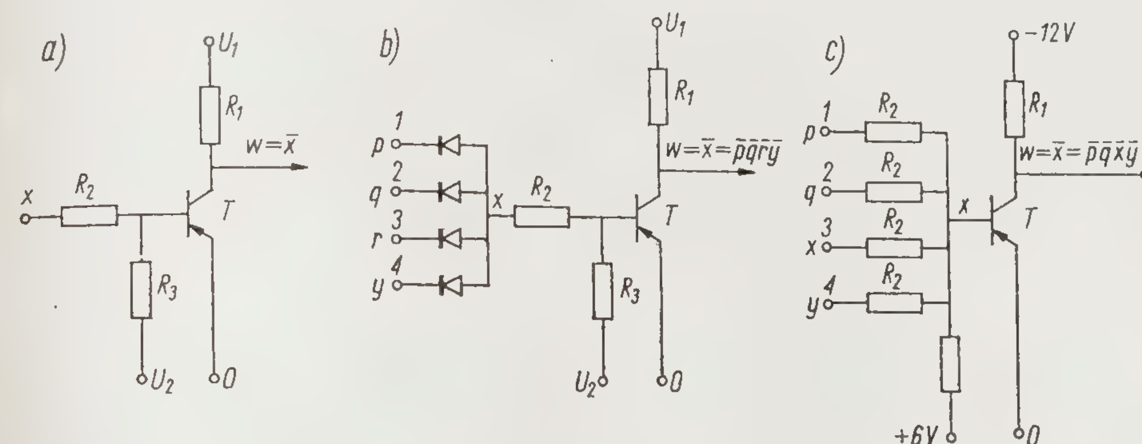
Rys. 213. Bierny element iloczynu

1 sygnałów. Jeżeli na wejścia *1, 2, 3* elementu nie są doprowadzane sygnały 1, to przez rezystory R_1 i R_2 oraz diody D_1 płynie prąd. Rezystory R_1 i R_2 są tak dobrane, że gdyby nie było połączenia wyjścia z przewodem zerowym przez diodę D_2, to potencjał wyjścia byłby dodatni bez względu na to, czy prąd płynie przez wszystkie rezystory R_2, czy przez niektóre z nich, czy tylko przez jeden. Wspomniane połączenie powoduje jednak, że przez diodę D_2 płynie prąd wyrównawczy i potencjał sygnału wyjściowego w spada, praktycznie biorąc do zera ($w = 0$), ponieważ spadek napięcia na diodzie D_2 jest znikomo mały. Gdy do któregokolwiek z wejść doprowadzimy sygnał 1, a więc napięcie U_2, to przez odpowiedni rezystor R_2 i diodę D_1 przestaje płynąć prąd. Dopóki jednak choćby na jednym wejściu nie ma sygnału 1, dopóty przez odpowiedni rezystor R_2 płynie prąd, a dzięki odpowiedniemu dobraniu rezystancji R_2 i R_1 potencjał sygnału wyjściowego w nie spada poniżej zera. Dopiero, gdy do wszystkich wejść elementu iloczynu doprowadzimy sygnały 1, przez żaden z rezystorów R_1 nie będzie płynął prąd i potencjał sygnału wyjściowego w zrówna się z potencjałem U_1. Ponieważ $U_1 < 0$, dioda D_2 odcina wyjście od potencjału 0 i wyjście elementu ma również potencjał U_1, a więc sygnał wyjściowy ma wartość 1.

5.2. Elementy logiczne czynne

Półprzewodnikowe elementy logiczne czynne są wyposażone w tranzystory, pozwalające na sterowanie wejściowymi sygnałami energii, doprowadzonej do elementów z odpowiedniego źródła zasilania. Zgodnie z przeznaczeniem elementu do układu sterowania dwustanowego, energia ta jest również sterowana dwustanowo: tranzystor albo jest w stanie zablokowanym (nie przewodzi), albo też jest w pełni wysterowany i przewodzi pełny prąd nasycenia.

5.2.1. Funktor negacji. Najprostszym tranzystorowym elementem logicznym jest funktor negacji. Element taki, pracujący w logice negatywnej, przedstawiono na rys. 214a. Emiter tranzystora T jest połączony na stałe z potencjałem 0, ko-



Rys. 214. Tranzystorowy (czynny) element negacji: a) jednowejściowy element negacji b) element NOR z wejściem diodowym; c) element NOR z wejściem rezystorowym

lektor przez rezystor R_1 połączony jest z potencjałem ujemnym U_1, odpowiadającym stanowi 1 sygnałów przetwarzanych przez układ; baza tranzystora przez rezystor R_3 połączona jest potencjałem dodatnim U_2. Wejście elementu negacji jest połączone z bazą tranzystora przez rezystor R_2, przeznaczony do ograniczenia do wartości dopuszczalnej prądu w obwodzie baza — emiter.

Gdy do wejścia elementu doprowadzimy napięcie U_1, a więc sygnał $x = 1$, dzielnik napięcia, złożony z rezystorów R_2 i R_3 poda na bazę tranzystora potencjał ujemny, powodując przepływ prądu sterującego w obwodzie emiter — baza. Prąd ten wysteruje z kolei przepływ prądu w obwodzie emiter — kolektor. Ze względu na mały spadek napięcia między emiterem i kolektorem w stanie przewodzenia prądu nasycenia, na wyjściu w elementu, połączonym z kolektorem, będzie występował potencjał bliski zera, a więc będzie $w = 0$.

Gdy zaś na wejściu elementu zaniknie napięcie U_1 i sygnał wejściowy x przejdzie do stanu 0, to baza tranzystora otrzyma przez rezystor R_3 potencjał dodatni, który zablokuje przewodzenie prądu w obwodzie emiter-baza, a tym samym i w obwodzie emiter-kolektor. Wtedy rezystancja między emiterem i kolektorem stanie się bardzo duża w porównaniu z rezystancją R_1 i na wyjściu pojawi się napięcie U_1, a więc sygnał wyjściowy $w = 1$.

Opisany element jest więc elementem negacji, ponieważ stale spełnia zależność między sygnałem wyjściowym i wejściowym $w = \bar{x}$.

5.2.2. Funktor negacji sumy (funktor NOR). Jeżeli do wejścia elementu negacji przyłączymy bierny element sumy (rys. 214b), to oznaczając sygnały wejściowe przez p, q, r i y otrzymamy

$$x = p+q+r+y; \qquad w = \bar{x} = (\overline{p+q+r+y}) = \bar{p}\bar{q}\bar{r}\bar{y}$$

Element taki jest więc elementem, dającym na wyjściu sygnał będący negacją sumy sygnałów wejściowych, a zatem jest to element NOR.

Jak wyjaśniano poprzednio, mając do dyspozycji jedynie elementy NOR, można budować z nich obwody realizujące dowolną funkcję logiczną. W celu uzyskania obwodu realizującego sumę doprowadzonych do niego sygnałów należy zastosować połączenia według rysunku 198c, w celu uzyskania iloczynu połączenia według rysunku 198d. Korzystając z tej właściwości niektórzy producenci ograniczają zestaw elementów logicznych do funktorów NOR, podkreślając, że zestaw taki odznacza się dwiema poważnymi zaletami: a) wszystkie elementy układu składają się z elementów czynnych, co przyczynia się do zwiększenia niezawodności pracy układu przez ograniczenie do minimum liczby elementów biernych, powodujących osłabienie przetwarzanych przez nie sygnałów; b) wszystkie elementy logiczne w układzie sterowania są identyczne.

Jeżeli w układzie stosuje się wyłącznie elementy NOR w dodatku o ograniczonej wyraźnie liczbie wejść jednego elementu, to można sobie pozwolić na złagodzenie wymagań pod adresem elementów biernych, współpracujących zawsze bezpośrednio z elementami czynnymi, i zamiast diodowego funktora sumy zastosować funktor rezystorowy (rys. 214c). Takie rozwiązanie przyjęto również w zestawie polskich funktorów logicznych typu „Logister".

5.3. Elementy logiczne pomocnicze

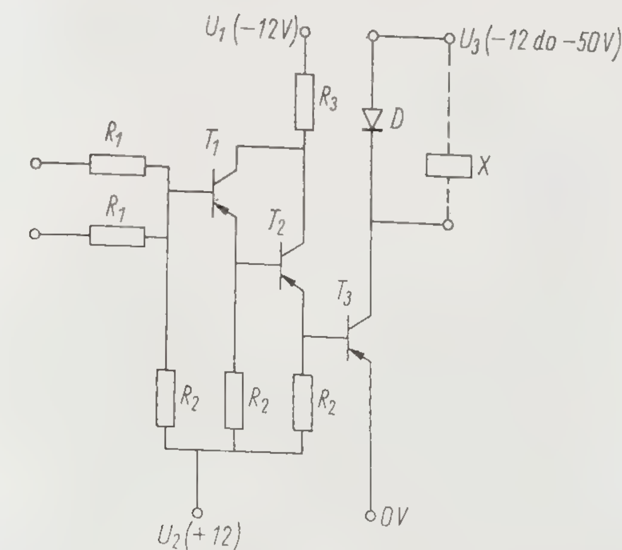
Podany w rozdziale pierwszym podział na obwody sterowania wejściowe, pośredniczące i wyjściowe zaznacza się szczególnie wyraźnie w układach z funktorami logicznymi. Funktory te wchodzą wyłącznie w skład obwodów pośredniczących. Do zrealizowania pełnego układu sterowania konieczne są jeszcze elementy wejściowe i wyjściowe. Jako elementy obwodów wejściowych mogą z elementami półprzewodnikowymi współpracować łączniki zestykowe, natomiast między elementem realizującym sygnał wyjściowy zgodnie z założoną funkcją przetwarzania, a elektromagnetycznym elementem wykonawczym (przekaźnikiem, stycznikiem, elektrozaworem itp.) trzeba bezwzględnie umieścić wzmacniacz mocy, sterujący przepływem energii w obwodzie mocy.

5.3.1. Wzmacniacz wyjściowy (wzmacniacz mocy). W skład zestawu elementów pomocniczych wchodzi zwykle kilka odmian wzmacniaczy mocy, różniących się przede wszystkim wartością mocy wyjściowej. W zestawie „Logister" są wzmacniacze o dopuszczalnym obciążeniu wyjścia prądem: 50, 200 a nawet 1250 mA (1,25A). Napięcie zasilania dla pierwszych dwóch typów wynosi — 12 woltów, dla ostatniego zaś od 12 do — 50V.

Wszystkie te wzmacniacze mają po dwa wejścia, a doprowadzone do nich sygnały sterują mocą wyjściową albo w funkcji sumy logicznej (wzmacniacze OR), albo negacji sumy (wzmacniacze NOR). Na rys. 215 przedstawiono schemat wzmacniacza typu OR, o prądowej obciążalności obwodu wyjściowego do 1,25A. Doprowadzenie sygnału 1 na wejście obniża potencjał bazy tranzystora T_1 poniżej zera, w wyniku czego tranzystor T_1 rozpoczyna przewodzenie, obniżające potencjał bazy następnego tranzystora. Zainicjowane w ten sposób przewodzenie tranzystora T_2 obniża potencjał bazy T_3 i otwiera przepływ prądu przez odbiornik X (cewkę przekaźnika, stycznika, czy elektrozaworu). Z chwilą zaniku sygnałów na wejściu wzmacniacza wszystkie tranzystory przestają przewodzić, następuje więc przerwa w przepływie prądu przez cewkę X. Przekaźnik elektromagnetyczny nie wchodzi w skład wzmacniacza, dlatego też połączenie jego cewki z napięciem zasilającym i kolektorem tranzystora T_3 zaznaczono linią przerywaną. Wchodzi natomiast w skład wzmacniacza dioda D, mająca za zadanie

zabezpieczenie tranzystora T_3 przed sem. uzwojenia X w momencie przerwania jego obwodu.

Dwa wejścia do wzmacniacza OR pozwalają realizować w prosty sposób sterowanie w cyklu ciągłym i cyklu ustawczym, na jedno wejście doprowadzamy sygnał z układu sterowania w cyklu ciągłym, na drugie zaś sygnał od przycisku ustawczego.



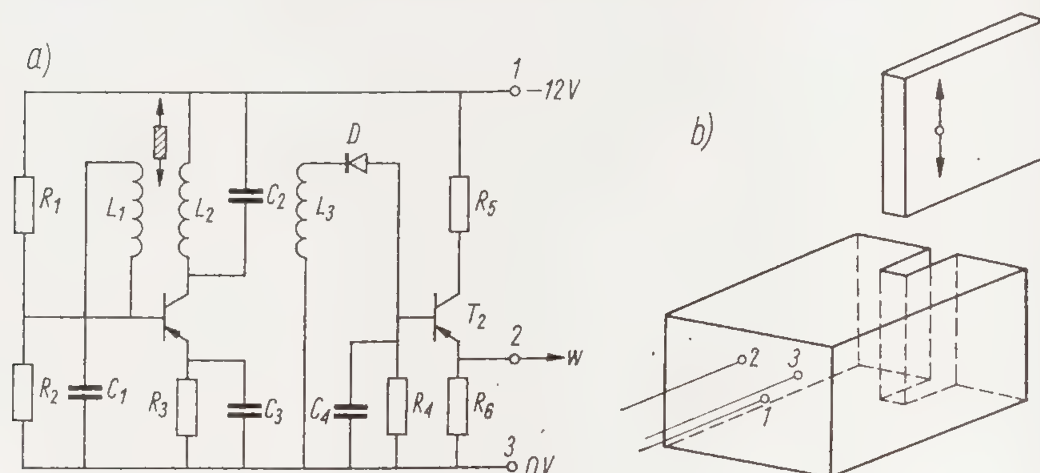
Rys. 215. Schemat wzmacniacza typu OR

5.3.2. Wtórnik emiterowy. Wtórnik emiterowy jest wykonywany jako oddzielny element pomocniczy stosowany w tych przypadkach, gdy sygnał wyjściowy elementu logicznego trzeba skierować na większą liczbę innych elementów logicznych, niż jest to dopuszczalne ze względu na obciążenie pierwszego elementu. Tak na przykład elementy NOR z zestawu „Logister" mogą swymi sygnałami wyjściowymi sterować czterema lub sześcioma innymi elementami. Maksymalna liczba wejść obciążających wyjście elementu NOR zależy od konstrukcji tego elementu. Wtórnik emiterowy będący jednowejściowym, jednostopniowym wzmacniaczem mocy, nie wprowadzającym negacji do sygnału wejściowego, pozwala na takie jego wzmocnienie, że np. sygnałem wyjściowym wtórnika zestawu „Logister" można sterować do 25 innych elementów.

5.3.3. Inicjator drogowy. Inicjator drogowy jest bezstykowym czujnikiem położenia, zastępującym mikrołączniki w układach sterowania z półprzewodnikowymi elementami logicznymi. Na rys. 216 przedstawiono schemat inicjatora „Logister". Tranzystor T_1 pracuje w układzie samowzbudnego generatora drgań sinusoidalnych. Drgania te, indukowane w uzwojeniu L_3 i prostowane w obwodzie detekcyjnym, złożonym z diody D, rezystora R_4 i kondensatora C_4, inicjują przewodzenie tranzystora T_2. Tranzystor ten pracuje w układzie wtórnika emiterowego, gdy więc generator jest wzbudzony na wyjściu pojawia się sygnał 1. Wsunięcie między cewki generatora L_1 i L_2 płytki z dobrze przewodzącego materiału (miedź, srebro, aluminium itp.) powoduje zgaszenie drgań, na wyjściu pojawia się wtedy sygnał 0.

Po zmontowaniu inicjator drogowy zostaje zalany żywicą epoksydową, uzyskując kształt prostopadłościanu o wymiarach 51×30×20 mm. W prostopadłościanie tym znajduje się wycięcie o szerokości 3 mm, w które wchodzi płytka, gasząca drgania generatora. Na rys. 204b przedstawiono szkicowo inicjator drogowy i płytkę sterującą.

Inicjator drogowy odznacza się dużą dokładnością powtarzalną punktu zmiany sygnału wyjściowego (kilka do dziesięciu mikronów). W technice impulsowej szczególną zaletą inicjatora jest to, że zmiany stanu sygnału wyjściowego odbywają się jednorazowo, a nie z wibracjami, jak w przypadku łączników zestykowych. W układach sterowania maszyn, pracujących w technice potencjalnej elementami wyjściowymi są zawsze elementy elektromagnetyczne o znacznych stałych czasowych, dlatego też do takich układów wspomniane wibracje zakłóceń nie wprowadzają.



Rys. 216. Inicjator drogowy: a) schemat; b) widok zewnętrzny

Literatura

1. *J. Brunin*: Logique binaire et commutation. Bibliothèque de l'automaticien, nr 11, Paris 1966 Dunod.
2. *Samuel H. Caldwell*: Switching Circuits and Logical Design. New York 1958. John Wiley and Sons, Inc.
3. *P. Castello*: Clé des schémas électriques — Étude logique des circuits. Bibliothèque de l'automaticien, nr 6 Paris 1966 Dunod
4. *J. Chmielarz*: Projektowanie elektrycznych urządzeń sterowania, blokady i sygnalizacji. Warszawa 1966 WNT.
5. *Grzegorczyk*: Zarys logiki matematycznej. Biblioteka Matematyczna, tom 20, Warszawa 1961 PWN.
6. *R. Higonnet, R. Gréa*: Étude logique des circuits électriques. Paris 1954 Berger-Levreault
7. *H. Th. Hilscher*: Mikroschalter. Oesterreichisches Produktivitaets-Zentrum.
8. *J. Kuzmann*: Algèbre de Boole. Bibliothèque de l'automaticien, Nr 10, Paris 1965 Dunod
9. *Mitchel P. Marcus*: Switching Circuits for Engineers. Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall, Inc. 1962.
10. *E. Misiurewicz, A. Mystkowski*: Napęd i sterowanie elektryczne obrabiarek. Warszawa 1963 WNT
11. *P. Naslin*: Circuits logiques et automatismes à séquences. Bibliothèque de l'automaticien, nr 9. Paris 1965 Dunod
12. *Claude Polgar*: Technique de l'emploi des relais dans les machines automatiques. Paris 1961 Éditions Eyrolles
13. *В. Н. Рогинский*: Построение релейных схем управления Москва 1964 „Енергиа"
14. *Siemens*: Relais Datenbuch. 1968.
15. *Jerzy Siwiński*: Układy przełączające w automatyce. wyd. II, Warszawa 1968 WNT
16. *Wiesław Traczyk*: Projektowanie tranzystorowych układów przełączających. Warszawa 1966 WNT
17. *P. Volk*: Antriebstechnik in der Metallverarbeitung. Berlin 1966. Springer

Załącznik 1

Kolory przycisków sterowniczych w obrabiarkach według zaleceń CIE

Kolor przycisku	Funkcja przycisku	Przykłady stosowania
czerwony	zatrzymanie	— zatrzymanie jednego lub kilku silników; — wyłączenie napędu podzespołu obrabiarki; — przerwanie obwodu wzbudzenia uchwytów elektromagnetycznych; — zakończenie cyklu pracy (jeżeli obsługujący naciśnie przycisk podczas trwania cyklu, to maszyna zatrzyma się pod koniec cyklu);
	stop awaryjne	— wyłączenie wszystkich napędów
żółty	załączanie napędu wycofania poza zwykłą kolejnością; uruchamianie czynności usuwającej czynność niebezpieczną	— wycofanie podzespołów obrabiarki do położenia wyjściowego przed zakończeniem cyklu pracy; — kasowanie wykonania innych czynności, poprzednio zaprogramowanych
zielony	załączanie, uruchamianie czynności o charakterze przygotowawczym	— załączanie zasilania obwodów sterowania; — uruchamianie jednego lub kilka silników napędzających czynności pomocnicze; — uruchamianie napędu podzespołów obrabiarki; — załączanie uchwytów magnetycznych
zielony lub czarny	uruchamianie czynności o charakterze wykonawczym	— start cyklu lub jego części; — impulsowanie
biały lub jasnoniebieski	wszelkie funkcje nie objęte wyżej podanymi zaleceniami	— uruchamianie czynności pomocniczych nie związanych bezpośrednio z cyklem pracy; — uzbrojenie (załączenie) przekaźników zabezpieczających — jeżeli ten sam przycisk jest wykorzystywany jako przycisk„ stop", to powinien być koloru czerwonego

Załącznik 2

Kolory lampek sygnalizacyjnych w obrabiarkach według zaleceń CIE

Kolor lampki	Znaczenie	Przykład stosowania
czerwony	sytuacja nienormalna, wymagająca natychmiastowej interwencji obsługującego (p. uwagi 1 i 2)	— rozkaz natychmiastowego zatrzymania obrabiarki (np. na skutek przeciążenia); — zasygnalizowanie zatrzymania obrabiarki przez urządzenie zabezpieczające (np. na skutek przekroczenia ustalonej wartości granicznej pewnej wielkości)

Kolor lampki	Znaczenie	Przykład stosowania
żółty	uwaga, ostrzeżenie (p. uwaga 1)	– określona wielkość (np. prąd, temperatura) zbliża się do dopuszczalnej wartości maksymalnej; – maszyna pracuje w cyklu automatycznym
zielony	sygnalizacja gotowości do pracy obrabiarki lub jej zespołów	– maszyna gotowa do pracy: wszystkie czynności pomocnicze uruchomione, jednostki w położeniach wyjściowych, parametry w wyznaczonych granicach; – po zakończeniu cyklu obrabiarka gotowa do rozpoczęcia następnego cyklu
biały (bezbarwny)	obwody pod napięciem, normalne warunki	– wyłącznik główny w położeniu „załączono" (p. uwaga 2); – wybór prędkości lub zwrotu wirowania; – urządzenia pomocnicze, nie związane z cyklem pracy są w ruchu
niebieski	wszelkie inne znaczenia nie wymienione wyżej	– przełącznik selekcyjny w położeniu „ustawianie"; – jednostka opuściła położenie wyjściowe; – zwolniony posuw podzespołu lub jednostki

Uwaga: 1. W celu zasygnalizowania nienormalnych warunków, wymagających natychmiastowej interwencji, albo w celu zwrócenia uwagi można stosować światło migające (w odpowiednim kolorze) ewentualnie z dołączeniem sygnału dźwiękowego.
2. W celu zasygnalizowania zamknięcia wyłącznika głównego można na szafie sterowniczej zastosować lampkę sygnalizacyjną koloru czerwonego; na pulpicie taka lampka powinna być biała.

Załącznik 3

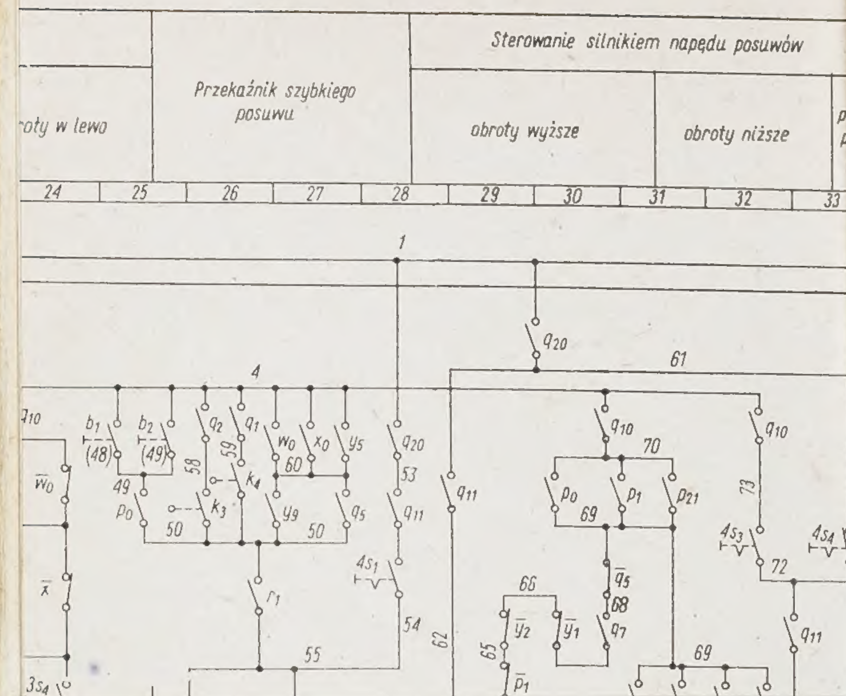
Kolory przycisków z umieszczoną wewnątrz lampką sygnalizacyjną według zaleceń CIE

Kolor i charakter sygnału	Znaczenie światła lampki	Funkcja przycisku	Przykłady zastosowania i uwagi
czerwony (wskazanie)	p. uwagi 1	zatrzymanie (p. uwagi 2) i ewentualnie przezbrojenie (jedynie w przypadkach, kiedy ten sam przycisk jest użyty również jako przycisk „stop")	
żółty lub bezbarwny (wskazanie)	uwaga, ostrzeżenie, uprzedzenie	uruchomienie czynności usuwającej zagrożenie lub niebezpieczeństwo	określona wielkość (prąd, temperatura itp.) zbliża się do granicy dopuszczalnej: – użycie przycisku żółtego może również anulować inne czynności uprzednio zaprogramowane lub nakazane.

Kolor i charakter sygnału	Znaczenie światła lampki	Funkcje przycisku	Przykłady zastosowania i uwagi
zielony (wskazanie)	obrabiarka lub jednostka gotowa do pracy	uruchomienie po zezwoleniu przekazanym przez oświetlony przycisk	– uruchomienie jednego lub kilku silników napędów pomocniczych; – uruchomienie podzespołów obrabiarki; – wzbudzenie uchwytów magnetycznych; – uruchomienie cyklu lub jego części (p. uwaga 3)
niebieski (wskazanie)	wszystkie znaczenia nie objęte wyżej podanymi zaleceniami	wszelkie czynności nie objęte wyżej wymienionymi zaleceniami	– wskazanie lub rozkaz dla obsługującego wykonania określonej czynności np. przeprowadzenia regulacji (po wykonaniu obsługujący naciska przycisk jako potwierdzenie wykonania)
biały (potwierdzenie)	potwierdzenie – że dany obwód jest pod napięciem; – że dana czynność została uruchomiona albo wybrana	załączenie obwodu, uruchomienie, preselekcja	– doprowadzenie napięcia do obwodów pomocniczych nie związanych z pracą w cyklu; – uruchomienie lub preselekcja np. kierunku ruchu szybkości itp.

Uwagi: 1. Nie zaleca się stosować przycisków z lampką czerwoną, jeżeli jednak są one zastosowane, to ich znaczenie musi być ściśle zgodne z wymaganiami, podanymi w zał. 2.
2. Przyciski „stop awaryjne" nie mogą być nigdy przyciskami z lampką sygnalizacyjną.
3. Dla ruchu przerywanego (impulsowania) należy stosować przyciski sterownicze czarne lub zielone, bez lampki sygnalizacyjnej.

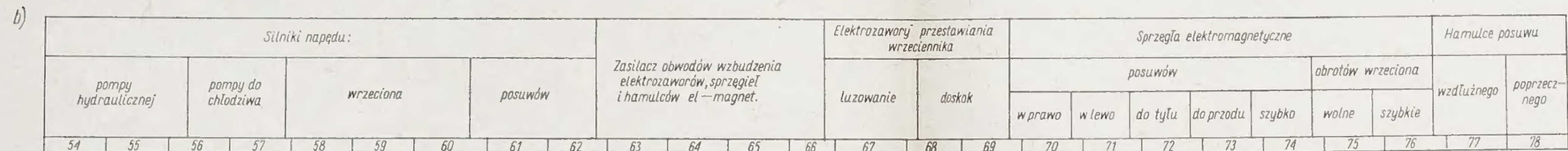
Skorowidz rzeczowy

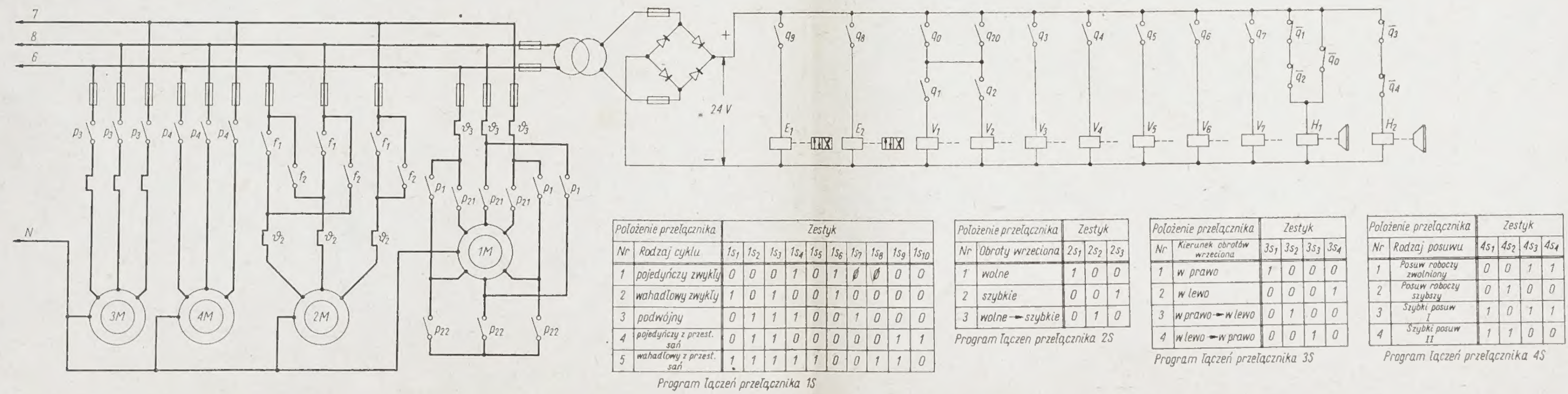


Rys. 203. Pełny schemat ob
obwodów wejściowych

a)

b)





Położenie przełącznika		Zestyk									
Nr	Rodzaj cyklu	$1s_1$	$1s_2$	$1s_3$	$1s_4$	$1s_5$	$1s_6$	$1s_7$	$1s_8$	$1s_9$	$1s_{10}$
1	pojedyńczy zwykły	0	0	0	1	0	1	Ø	Ø	0	0
2	wahadłowy zwykły	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
3	podwójny	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0
4	pojedyńczy z przest. sań	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
5	wahadłowy z przest. sań	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0

Program łączeń przełącznika 1S

Położenie przełącznika		Zestyk		
Nr	Obroty wrzeciona	$2s_1$	$2s_2$	$2s_3$
1	wolne	1	0	0
2	szybkie	0	0	1
3	wolne → szybkie	0	1	0

Program łączeń przełącznika 2S

Położenie przełącznika		Zestyk			
Nr	Kierunek obrotów wrzeciona	$3s_1$	$3s_2$	$3s_3$	$3s_4$
1	w prawo	1	0	0	0
2	w lewo	0	0	0	1
3	w prawo → w lewo	0	1	0	0
4	w lewo → w prawo	0	0	1	0

Program łączeń przełącznika 3S

Położenie przełącznika		Zestyk			
Nr	Rodzaj posuwu	$4s_1$	$4s_2$	$4s_3$	$4s_4$
1	Posuw roboczy zwolniony	0	0	1	1
2	Posuw roboczy szybszy	0	1	0	0
3	Szybki posuw I	1	0	1	1
4	Szybki posuw II	1	1	0	0

Program łączeń przełącznika 4S

Rys. 203. Pełny schemat obwodowy układu sterowania frezarki bezkonsolowej: a) schemat obwodów wejściowych i pośredniczących; b) schemat obwodów wyjściowych

Cena zł 50.—